VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

КЛАССИКИ НАУКИ



Н.А. БЕРНШТЕЙН

ФИЗИОЛОГИЯ ДВИЖЕНИЙ И АКТИВНОСТЬ

Под редакцией
академика О.Г. ГАЗЕНКО

Издание подготовил
профессор И.М. ФЕЙГЕНБЕРГ



МОСКВА «НАУКА» 1990

УДК 612.7

СЕРИЯ "КЛАССИКИ НАУКИ"

Основана академиком С.И. Вавиловым в 1945 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А.А. Баев (председатель)
И.Е. Дзялошинский, А.Ю. Ишлинский, С.П. Капица, И.Л. Кнунянц,
А.Н. Колмогоров, С.Р. Микулинский, Д.В. Ознобишин (ученый секретарь),
Л.С. Полак, Я.А. Смородинский, А.С. Спирин,
И.Т. Фролов (заместитель председателя), *А.Н. Шамин, И.Р. Шафаревич,*
А.Л. Яншин

В настоящее издание вошли две основные книги Н.А. Бернштейна: "О построении движений" (1947 г.), удостоенная Государственной премии СССР, и "Очерки по физиологии движений и физиологии активности" (1966 г.), подводящая итог научной работы автора. Трудами Бернштейна начата новая глава в физиологии движений — живой организм рассматривается не как реактивная (только лишь реагирующая на стимулы), а как активная система, стремящаяся к достижению "потребного будущего".

Книга рассчитана на физиологов, психологов, биологов, философов, медиков, инженеров, математиков, специалистов по кибернетике.

Рецензенты:

член-корреспондент АН СССР *В.С. Гурфинкель,*
академик АПН СССР *В.В. Давыдов*

Б $\frac{1910000000-131}{042(02)-90}$ 564-90, I полугодие

© Издательство "Наука", 19

ISBN 5-02-005234-5


ФИЗИОЛОГИЯ ДВИЖЕНИЙ И АКТИВНОСТЬ
* Н. А. БЕРНШТЕЙН *

ОТ СОСТАВИТЕЛЯ

В этот том вошли две основные книги Н.А. Бернштейна: первая — "О построении движений" и вторая — "Очерки по физиологии движений и физиологии активности". Именно эти книги подводят итог экспериментальной и теоретической работы ученого, ставшей классической и обессмертившей имя автора. Первая книга подытоживает в основном исследования, выполненные еще до войны. В 1945 г. в Ученых записках МГУ вышел большой очерк Н.А. Бернштейна "К вопросу о природе и динамике координации функций", где обобщены результаты главным образом довоенных исследований. Вслед за этим ученый пишет книгу "О построении движений". Она вышла в свет в 1947 г. и сразу была замечена научной общественностью: в печати появились рецензии с очень высокой оценкой, а в 1948 г. автор был удостоен Государственной премии.

Но уже в конце 1948 г. в жизни нашего общества начинается борьба с так называемым космополитизмом, преклонением перед Западом, разгул антисемитизма, лысенковское преследование передовой биологии. В печати сразу появились бранные рецензии на книгу Н.А. Бернштейна, его лабораторию закрывают, а самого увольняют с работы. Вести экспериментальные исследования негде. Научные журналы не берут его статей. Все это, однако, не означало прекращения творческой работы ученого. Связаны руки — невозможно экспериментировать, но свободна голова — Н.А. Бернштейн ведет большую теоретическую работу, завершившуюся созданием так называемой физиологии активности. Итог этой работы подведен им во второй книге — "Очерки по физиологии движений и физиологии активности", которая увидела свет в 1966 г. — в год смерти автора. Две первые главы книги "О построении движений" были повторены в этой работе в качестве IV и V очерков. При этом они были включены в новый контекст и соответственно несколько сокращены и отредактированы. (В настоящем издании они приведены в той редакции, которая соответствует книге "О построении движений", и опущены в книге "Очерков".) "Очерки по физиологии движений и физиологии активности" — лебединая песня ученого. Он готовил их в последний год своей жизни, отдавая себе отчет в том, что месяцы жизни сочтены. Ни время, ни силы не позволяли писать новую книгу. И Н.А. Бернштейн решил издать эти "Очерки", включив в них наиболее значительные работы, опубликованные в разное время — от 1935 по 1963 годы. Очерк II и "Заключение" написано заново. В конце первого издания "Очерков" была приведена литература к каждому из них. В настоящем издании эта литература не публикуется, а вместо нее приведен полный список опубликованных работ Н.А. Бернштейна, до сих пор в русской литературе никогда не печатавшийся.

Больших трудностей стоило восстановить иллюстрации публикуемых книг. Особенно это касается первой книги. Послевоенной ситуацией объясняется низкое полиграфическое качество рисунков, отпечатанных на плохой бумаге, что резко затрудняет их чтение, а тем более воспроизведение. К сожалению, часть рисунков поместить в настоящем издании не удалось. В каждом случае в тексте дается примечание редактора. Нумерация рисунков при этом сохранена такой, как в первом издании книги. Некоторые иллюстрации первой книги были повторены во второй. В этом издании они не дублируются, а даются только в первой книге, во второй сделана отсылка читателя к соответствующему рисунку первой книги.

Издания по серии "Классики науки" часто снабжаются подробными комментариями, что вызвано существенными изменениями, произошедшими со времени написания книги. Работы Н.А. Бернштейна не устарели, поэтому комментарии не представлены, а в статье о жизни и творчестве ученого дается современная оценка его идей.

Кроме публикуемых в этом томе книг, Н.А. Бернштейном было написано много работ — список их приведен в конце тома. Но имеются еще две большие книги, написанные им, которые до сих пор не увидели свет. Это "Современные искания в физиологии нервного процесса", подготовленные им к изданию в 30-е годы, и "О ловкости и ее развитии", написанной в 40-е годы. Надеюсь, что и эти книги станут достоянием читателя.

Как уже отмечено, исследования Н.А. Бернштейна не утратили актуальности за несколько десятилетий, прошедших после их написания. Более того, интерес к ним со стороны ученых растет и в нашей стране, и за рубежом. Они остаются путеводной нитью для современных исследователей. Их изучают студенты в университетах. Надеюсь, что новое издание трудов Н.А. Бернштейна поможет современным ученым в успешном движении вперед.

И.М. Фейгенберг

Проф. Н. А. БЕРНШТЕЙН
Член-корреспондент Академии медицинских наук СССР

ИНСТИТУТ НЕВРОЛОГИИ
АКАДЕМИИ МЕДИЦИНСКИХ НАУК СССР
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

О ПОСТРОЕНИИ ДВИЖЕНИЙ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МЕДИЦИНСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МЕДГИЗ — 1947

Светлой, неугасающей памяти товарищей, отдавших свою жизнь в борьбе за Советскую Родину

ПРЕДИСЛОВИЕ

Работа над предлагаемой книгой была начата еще в 1939 г., и уже в 1940 г. в журнале "Теория и практика физической культуры" были опубликованы подробные тезисы ее первых частей. Разразившаяся гроза Великой Отечественной войны прервала подготовку этой книги к печати. В последний год войны автор заново написал весь текст, подвергнув его коренной переработке, значительно уточнив и пополнив новыми материалами. Извлечение из центральной части книги — теории уровней построения движений — в сокращенном виде вышло в свет в 1945 г. в сборнике "Движение и деятельность"; параллельно с этим автор получил возможность включить популяризированное изложение основ излагаемой здесь теории координации движений в "Учебник физиологии для вузов по физической культуре" под редакцией профессора М. Маршака, вышедший в 1946 г., — возможность, за которую автор глубоко признателен редактору названного руководства.

Представляя собой в некоторых отношениях итог двадцатипятилетней работы автора и окружавшего его научного коллектива в области физиологии движений человека, настоящая книга является в то же время попыткой обобщения и подытоживания материалов и концепций по вопросам координации движений в норме и патологии, скопившихся и назревших в мировой литературе. Значительная часть не только идей, но и терминов этой книги отнюдь не новы; в частности, с идеей разноуровневой структуры и регуляции двигательных актов мы встречаемся впервые уже у Hughlings Jackson, а термин "уровень" в контексте "уровни переключения с афферентных путей на моторную систему" применен академиком Л.А. Орбели в его "Лекциях по физиологии нервной системы" в 1934 г. Вполне естественно, прибегая к этому же термину, автор в этой книге, однако, существенно изменяет его содержание сравнительно с его трактовкой у Л.А. Орбели: а) подчеркивая, что в материальном субстрате каждого из центрально-нервных координационных уровней обязательно содержатся как эффекторные, так и свои особые рецепторные образования, б) устанавливая в качестве причины выдвижения того или другого из уровней на роль ведущего по данному движению (вообще не указываемой Л.А. Орбели) содержание и структуру подлежащей решению двигательной задачи и в) давая конкретный перечень наблюдаемых у человека координационных уровней и их подробное описание.

Кроме двух упомянутых классиков нервной физиологии, мы встречаемся с фрагментарными высказываниями, созвучными настоящей книге, и у целого ряда других авторов, как-то: Sherrington, Graham Brown, Goldstein, O. Foerster, Lindhard, Wachholder, Monakow, М.О. Гуревич и др.: эти идеи действительно, как принято выражаться, "носятся в воздухе".

Несомненно, уже настало время для подведения итогов и обобщений по линии координационной физиологии, и откладывать подобное обобщение на более долгий срок было бы неправильным. Тем не менее автор больше, чем кто бы то ни было, сознает все существенные недочеты своего труда: недостаточную полноту фактического материала, гипотетичность некоторых построений, субъективную направленность отдельных выводов. В известных отношениях эта книга есть, может быть, в большей мере программа предстоящих неотложных исследований, нежели догматический отчет о твердо установленных результатах. Автора ободряет сознание, что на некоторых этапах научной работы удачно намеченная программа может также принести свою долю пользы. По крайней мере к настоящему моменту обнаружилось, что ряд положений, содержащихся в этой книге, способен заинтересовать и в известной степени обслужить практиков из таких разнородных областей, как физическое воспитание, невропатологическая семиотика и диагностика, психофизиология труда и оборонных специальностей, педагогика художественного исполнительства и т.д.

Автор готов приветствовать самую суровую критику, лишь бы она способствовала общему успеху естественной науки. Если даже эта критика будет уничтожающей для настоящей книги, но пробудит к жизни мысли и построения, приближающие нас к объективной истине, — автор будет удовлетворен сознанием, что все же его книга смогла послужить одним из скромных кирпичей для фундамента *физиологии будущего*.

Москва, январь 1947 г.

Ник. Бернштейн

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ
ДВИЖЕНИЯ

Глава первая
О ПРОИСХОЖДЕНИИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ

Из всех областей вопросов, относящихся к компетенции общей физиологии, ни одна не является столь специфически человеческой, как область физиологии двигательных функций, несмотря на наличие и здесь бесспорной и непрерывной преемственности от филогенетических предков. Дело в том, что больше ни в одной системе физиологических функций не имел места такой интенсивный и вдобавок убыстряющийся филогенетический прогресс. Едва ли мы смогли бы отметить существенные сдвиги в смысле эволюционного прогресса между любым представителем теплокровных и человеком в какой бы то ни было иной функциональной сфере — хотя бы в области вегетативных функций дыхания, кровообращения, обмена и т.д.[1]. Исключение в смысле, несомненно, еще более бурного прогресса составляет только область, выделенная по методологическому признаку в ведение самостоятельной науки — область явлений психической жизни, или, как нам будет удобнее для связного контекста обозначать ее здесь, область центральных замыкательных систем нервного аппарата. Но тот самый вопрос метода, который послужил к ее выделению в самостоятельную научную ветвь, создает здесь непреодолимое добавочное осложнение. Если бы мы захотели представить упомянутый прогресс графически, то для функции дыхания или обмена он изобразился бы линией, вряд ли существенно отклоняющейся — в пределах филогенеза теплокровных — от параллельности с осью абсцисс. Кривая развития психических функций имела бы все основания выглядеть на подобном графике очень круто восходящею кверху; но, к сожалению, мы имели бы объективное право нанести на чертеж только ее самую правую (самую верхнюю) площадку, относящуюся к человеку. Вся остальная кривая осталась бы в области гипотез из-за полного отсутствия объективного материала, касающегося животных, несмотря на всю героику объединенных усилий зоопсихологов, бихевиористов и кондиционалистов. И только для двигательных отправлений мы можем вполне реально и

[1] Не упоминаем *здесь* о физиологии труда, представляющей собой неоспоримо и монопольно отрасль физиологии человека. Физиология труда — подразумевается в основном физического труда — либо изучает самый процесс труда, т.е. трудовые движения, и тогда это физиология движений; либо когда она обращается к вегетативным отправлениям, то изучает функции, сами по себе не изменившиеся у человека по сравнению с животными, но лишь поставленные в измененные условия, не встречающиеся у животных. Движения же, как трудовые, так и бесчисленные другие, у человека *изменились* сами сравнительно с тем, чем располагают животные.

объективно построить полностью их эволюционную кривую, круто восходящую к правому концу графика и далеко обгоняющую темпами своего развития сам по себе весьма не медленно эволюционирующий их морфологический центрально-нервный субстрат. Уже одно это обстоятельство делает физиологию движений интересной для психолога и невролога, даже независимо от того значения, какое она имеет для них в качестве необходимого pendant к несравненно лучше разработанной отрасли психофизиологии рецепторных функций.

Но, помимо этого обстоятельства, огромное эволюционное значение двигательной функции оттеняется еще длительностью того срока, в течение которого она занимала ведущее положение в филогенезе соматического аппарата в целом. Рекордный темп роста и эволюции центральных замыкательных систем объясняется именно тем, что этим системам пришлось за тот же промежуток времени проделать больший путь развития: они начали ниже эффекторики, а кончают выше. Руководящая роль как по положению, так и по ведущему значению в филогенетической эволюции досталась им сравнительно недавно, тогда как раньше они исполняли (и сейчас исполняют у менее развитых организмов) значительно более скромные вспомогательные обязанности интегрирующей связи между рецепторикой и эффекторикой. Современный нам массив животного мира — живая книга филогенетической истории — сохранил нам память о ранней биографии этого органа, едва лишь начинавшего (у кишечнополостных и иглокожих) свою впоследствии головокружительную карьеру мало заметной работой связиста, только что введшего в физиологический обиход новый, биоэлектрический (телеграфный) способ связи на место более древнего способа вещественных гуморальных (так сказать, почтовых) сигнальных пересылок. Однако поворотным пунктом в истории центральных замыкательных систем явилось другое обстоятельство — появление продолговатых животных форм на смену древнейшим округлосимметричным (лучистым) формам. Это определило собой преобладание переднего, ротового, конца тела, первым сталкивающегося как с добычей, так и с опасностью, и тем самым оказавшегося перед биологической необходимостью сигнализции всем прочим метамерам, возглавления и объединения их движений и инициативы этих движений. *Головной* конец становится *главным* концом. В этом пункте — зародыш централизованных нервных систем на месте древних диффузных (Reflex-Republics Uexküll). Далее, у головных метамеров оказались все предпосылки к возникновению и развитию на них *телерецепторов,* трансформировавшихся каждый путем утончения и усовершенствования из одной из древних контактных категорий (обоняние — из вкусового хеморецептора, слух — из вибрационной, зрение — из кожной фотохимической чувствительности). Телерецепторы оказались могучим централизующим фактором уже потому, что дали животному возможность реагировать на раздражитель, по сравнению с отдаленностью которого собственные размеры его тела ничтожно малы; это выдвинуло на первый план локомоторные перемещения в пространстве всего тела как целого, оттеснив в число второстепенных частные метамерные реакции, преобладавшие в эпоху господства тангорецепторов. Биологическая необходимость локомоций привела к возникновению мощных интегрирующих, синергирующих аппаратов центральной нервной системы — древнейших во всем филогенезе позвоночной группы действительно центральных нервных образований и при этом не превзойденных, как увидим ниже,

вплоть до человека в отношении способности к обширнейшим двигательным интеграциям и мышечным синергиям: речь идет о таламо-паллидарной двигательной системе, или *уровне,* как мы будем называть ее в дальнейшем (см. гл. IV).

Как справедливо замечает Sherrington, "телерецепторы создали головной мозг", точнее — именно то, что мы выше назвали центральными замыкательными системами (наложив попутно централизующий отпечаток и на спинной мозг, некогда чисто метамерный, в более позднем филогенезе приобретший несомненные черты центрального образования); но дело в том, что рецепторы, и именно телерецепторы в наибольшей мере, сами являются вторичными, производными приборами, и здесь необходимо углубить и продолжить ход рассуждений Sherrington.

В процессе эволюции соматической системы (разве лишь за исключением самого последнего филогенетического отрезка) определяющим звеном являются эффекторные функции. Судьбу индивидуума в борьбе за существование решают его *действия* — бо́льшая или меньшая степень их адекватности во все осложняющемся процессе приспособления. Рецепторика здесь представляет собой уже подсобную, обслуживающую функцию. Нигде в филогенезе созерцание мира не фигурирует как самоцель, как нечто самодовлеющее. Рецепторные системы являются либо сигнальными — мы уже видели их в этой роли, и тогда любая степень их совершенства не в состоянии сама по себе обеспечить особи биологического преимущества в случае одновременной дефектности обслуживаемого ими эффекторного аппарата, либо они процессуально обеспечивают полноценную, координированную работу эффекторов — в этой роли мы еще увидим их ниже, — и здесь подсобный характер их деятельности вытекает из самого существа выполняемой ими задачи. Таким образом, и в сигнальной, и в коррекционной роли рецепторы состоят при эффекторных аппаратах, влияя на биологическую судьбу особи или вида не иначе, как через эти последние. Центральные замыкательные системы в этом аспекте исторически являются уже подсобными приборами для подсобных.

Мы покажем дальше, каким путем возникновение и развитие как самих телерецепторов, так и еще более важных для координационной функции *сензорных синтезов,* опирающихся на центральные замыкательные системы, определяются возрастающими и осложняющимися запросами со стороны эффекторики.

Усложнение возникающих перед организмом двигательных задач и откликающееся на него обогащение координационных ресурсов особи совершаются по двум линиям. С одной стороны, двигательные задачи делаются более сложными в прямом смысле слова. Возрастает разнообразие реакций, требующихся от организма. К самим этим реакциям предъявляются более высокие требования в отношении дифференцированности и точности; наконец, осложняется смысловая сторона движений, действий и поступков животного. Достаточно напомнить, насколько, например, аэродинамический полет птицы сложнее почти полностью гидростатического плавания рыбы или насколько богаче по контингентам участвующих движений охота хищного млекопитающего по сравнению с охотой акулы. Молодая отрасль проворных теплокровных млекопитающих победила тугоподвижных юрских завров именно своею более совер-

шенной моторикой[1]. С другой стороны, в общем составе встающих перед организмом двигательных задач все возрастает процент задач разовых, непредвиденных, экстемпоральных за счет более древних шаблонных ситуаций. Все многочисленные исследования "пластичности нервной системы" показывают наряду с эволюционным возрастанием приспособляемости центральной нервной системы к нетрафаретным изменениям условий немедленность, почти мгновенность ее перестроек при самых фантастических постановках опыта. Но даже если оставить в стороне эксквизитные экспериментальные анастомозы мышц и нервов, то гораздо более будничный факт возрастающей по ходу филогенеза способности к накоплению индивидуального опыта, к замыканию новых условных связей, т.е. опять-таки к выходу за рамки родовых стереотипов, подтверждает высказанное положение.

Слегка схематизируя, можно сказать, что первая из двух упомянутых линий развития двигательных координаций обеспечивается и сопутствуется преимущественно эволюцией рецепторики, вторая — эволюцией центральных замыкательных систем. Во-первых, по линии рецепторики идет систематическое качественное усовершенствование рецепторных устройств, ведущих свое начало с самого древнего филогенеза: переслоение древней (палеокинетической, см. гл. III) протопатической тактильной чувствительности более новою и тонко работающей эпикритической, реализующейся посредством неокинетического нервного процесса; появление младшей (опять-таки неокинетической) формы проприоцепторики — геометрической, воспринимающей позы и скорости и возглавляемой неолабиринтом полукружных каналов, — на фоне древней проприоцепторики тропизмов, возглавленной отолитовым аппаратом (палеолабринтом) и приспособленной к оценке давлений, напряжений и усилий, к ориентировке в поле тяготения и т.п. Во-вторых, все более развивается и приобретает главенствующее положение система телерецепторов, внесшая в эволюцию центральных замыкательных систем и головного мозга в целом весь тот глубокий качественный переворот, о котором уже говорилось выше и который обусловливался постепенным утверждением примата рецепторов этого класса. В частности, важнейшими сопутствующими структурными обстоятельствами здесь являются: 1) переход от одноневронной таламической схемы центростремительного нервного пути к схеме кортикальной афферентации, состоящей из двух и еще более невронов, что знаменует собой отнюдь не только появление пары лишних синаптических перерывов на пути сензорного импульса, а глубокую качественную переработку чувствительных сигналов в промежуточных ганглиозных ядрах; 2) переход от островной системы нервноклеточных сензорных ядер к двумерно развернутой слоистой системе, характерной для коры полушарий; значение обоих этих переходов для эволюции координационной функции уяснится в дальнейшем; 3) приспособительная эволюция рецепторики совершается по линии формирования все усложняющихся синтетических сензорных полей, о которых речь будет ниже, в гл. IV и V. Эти сензорные синтезы, в которых сырые рецепции отдельных органов чувств сливаются вместе с мнестическими компонентами из индивидуального опыта особи в глубоко

[1] Мы увидим ниже (см. гл. VII), что это была в основном победа кортикальной приспособительной моторики над древней экстрапирамидной моторикой стереотипов.

переработанные и обобщенные направляющие для координированных движений и действий, в свою очередь стимулируют и направляют рост и развитие центральных замыкательных систем в не меньшей мере, нежели это делают телерецепторы. Филогенетическое формирование этого ряда постепенно усложняющихся полей сопряжено с непрерывным ростом удельного веса мнестической слагающей — иначе говоря, индивидуальной памяти[1].

В той же слегка схематизированной интерпретации вторая линия развития эффекторики — линия возрастания удельного веса разовых реакций, опирающихся на накопленный и организуемый особью индивидуальный опыт, связана по преимуществу с эволюцией центральных замыкательных систем, имеющих своим субстратом кору больших полушарий. Развитие последней обеспечивает организму и возможность прогрессивного усложнения смысловой структуры его действий и увеличение его мнестических средств; этим путем центральные замыкательные системы переходят на какой-то из ступеней эволюции из подчиненного положения в положение возглавляющих и направляющих дальнейшее развитие всей нервно-соматической системы в целом.

Ход филогенетического развития строения центральной нервной системы (рис. 1), в отличие от всех прочих органов и систем тела, состоит не только (и даже не столько) в количественном *разрастании,* сколько в качественном *обрастании* ее новыми образованиями, не имеющими гомологов в предшествующих этапах филогенеза и по большей части представляющими собой надстройки на один (или больше) неврональный этаж на пути следования нервного процесса. Этот принцип приводит к неминуемой скачкообразности развития центральной нервной системы уже из-за дискретности невронной схемы: осложнение рефлекторной дуги или вообще любого маршрута нервного импульса внутри центральной нервной системы возможно не иначе, как на целое число новых промежуточных невронов. Путь, по которому центральная нервная система в своем развитии преодолевает эту скачкообразность, вскрывается эпизодами, подобными, например, ходу развития зрительного аппарата от амфибий до птиц, с переходом его от одноневронной схемы "сетчатка — ядра покрышки" к двухневронной: "сетчатка — наружные коленчатые тела — зрительная зона коры полушарий. На протяжении какого-то этапа развития оба аппарата, и старый, и новый, действуют рядом, после чего первый или инволюционирует, как это и случилось с мезэнфалическими центрами зрения, или, чаще, модифицируется так, чтобы образовать вместе со вторым более сложный функциональный синтез. Так было, например, с постепенным развитием эффекторных аппаратов мозга (рис. 2). Таким порядком мало-помалу формируется структура из многих совместно работающих неврональных этажей.

Необходимо, впрочем, подчеркнуть, что соответственно чрезвычайно общему биологическому принципу постепенной смены ведущих звеньев, прояв-

---

[1] Рост направляющего влияния телерецепторики на эволюцию двигательных функций объясняется еще и тем, что ею были вызваны к жизни сложные интегративные двигательные формы (локомоции и т.п.), а эти последние потребовали применения сензорных коррекций (см. гл. II). Таким образом, движения стали volens-nolens опираться на рецепторику, в то время как у древнейших форм, наоборот, рецепции вытекали из движения (ощупывания у червей и гусениц и пр.).

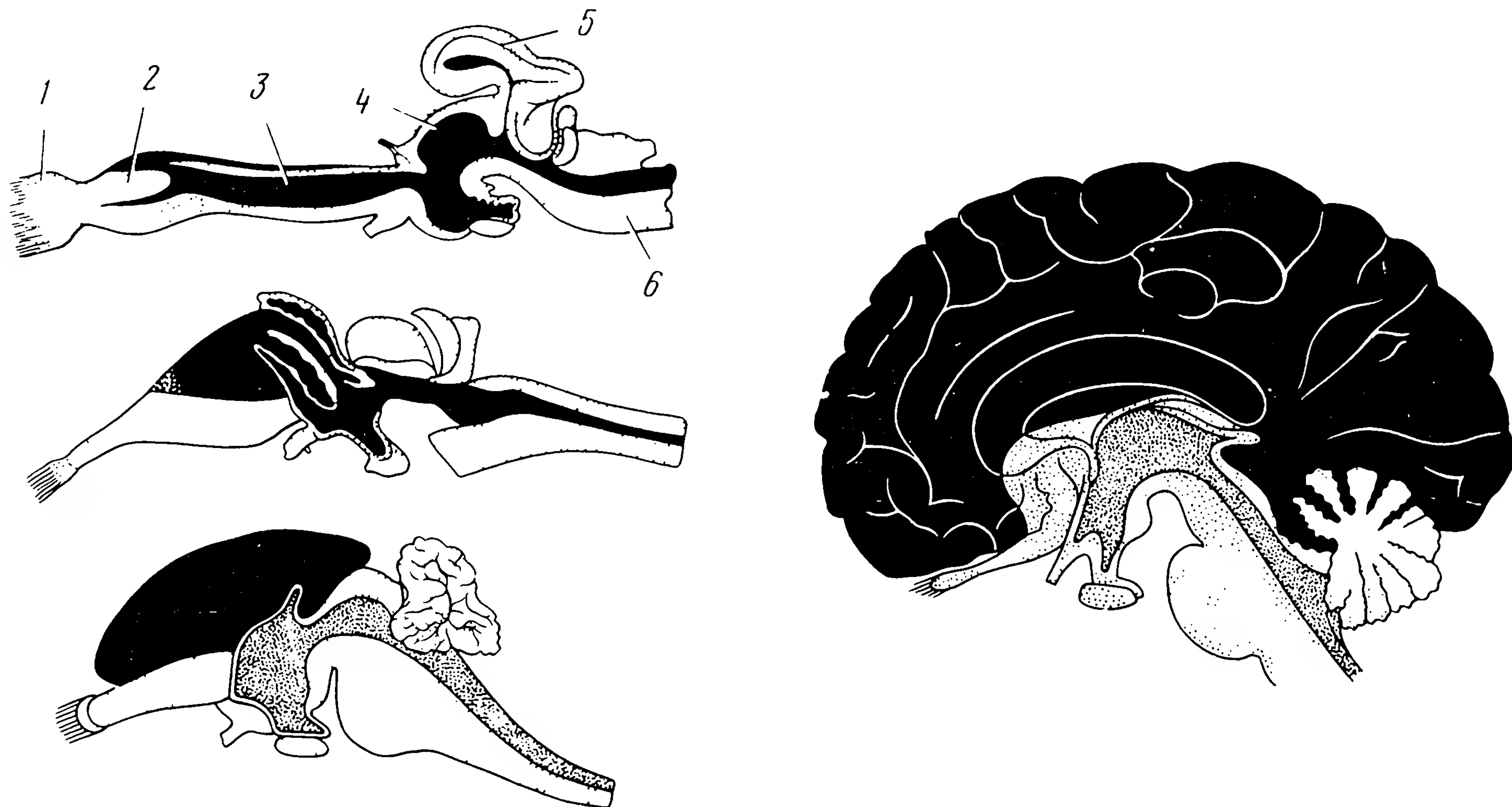


Рис. 1. Продольные разрезы головного мозга позвоночных животных

Слева — мозг акулы, ящерицы, кролика; справа — человека. Темной красной изображен "новый мозг", светло-серой — "старый мозг", темно-серой — мозговые желудочки
1 — обонятельные доли; *2* — pallidum; *3* — промежуточный мозг; *4* — зрительный бугор; *5* — мозжечок; *6* — продолговатый мозг

ления которого мы уже видели в чередовании эффекторики, рецепторики и центральных замыкательных систем в роли ведущих определителей эволюции мозга, и сам невронный принцип строения нервной системы родился отнюдь не сразу и не был изначальным спутником эволюции центральной нервной системы. Нервные системы у praevertebrata не невронны; и у позвоночных, до высших млекопитающих включительно, вегетативные системы в их постганглионарной части построены гораздо ближе к невропильной, нежели к невронной схеме. Наиболее своеобразно, что и самые центральные нервные системы высших позвоночных работают по отношению к одним отправлениям как построенные по невронному принципу и в то же самое время по отношению к другим классам функций — как самый неоспоримый сплошной, диффузный невропиль. Не исключена, видимо, возможность того, что первый слой коры полушарий и морфологически построен по типу невропиля; то же представляется более чем вероятным по отношению к целому ряду кортикальных мелкоклеточных скоплений[1].

Многие из упомянутых выше неврональных надстроек, возникавших в центральной нервной системе по ходу ее эволюционного обрастания, возглавляли в

[1] Трудно предвидеть, как разрешится в морфологическом плане спор между невронистами и антиневронистами. Может быть, шансы увидеть синапс под микроскопом не выше, чем вероятность, гуляя по полю, споткнуться о меридиан. Однако уже сейчас бесспорно, 1) что функционально синапсы являются точками нарушения непрерывности между отдельными возбудимыми элементами и 2) что невропильный тип строения существует наряду с невронным в высокоорганизованных нервных системах, будучи столь же тесно связан с палеообразованиями и отправлениями, сколь невронный тип связан с неообразованиями.

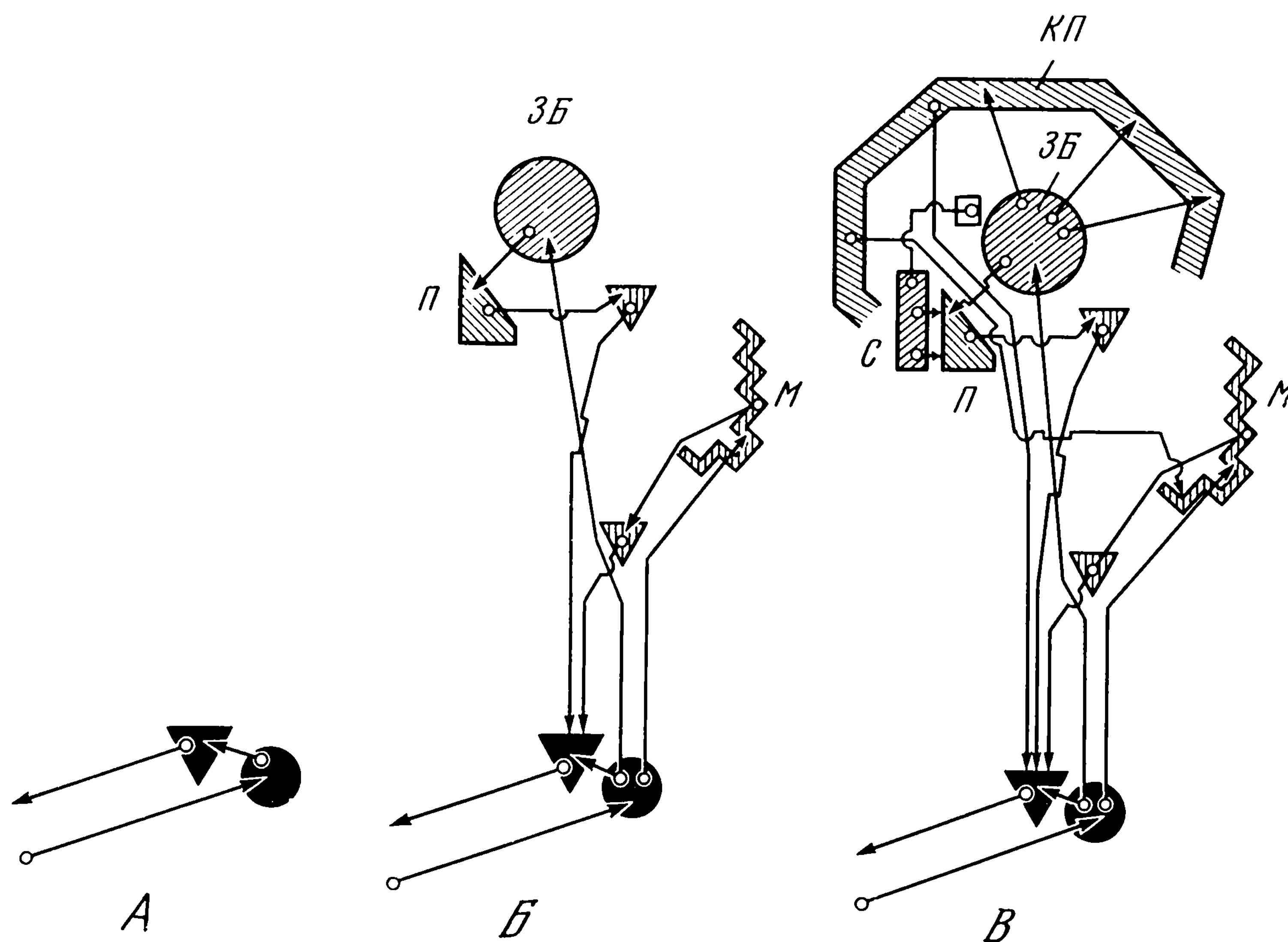


Рис. 2. Схемы постепенного "обрастания" эффекторных систем мозга
Сензорные ядра изображены округлыми, эффекторные — угловатыми контурами
А — спинальный уровень: периферические сензоневрон и мотоневрон с синаптической связью между ними; *Б* — таламо-паллидарный уровень; *ЗБ* — зрительный бугор, *П* — pallidum, *М* — кора мозжечка; *В* — появление моторной коры (*КП*) и пирамидного пути: *С* — филогенетически новейшее и главенствующее эффекторное ядро striatum экстрапирамидной системы

какой-либо из фаз филогенеза всю центральную нервную систему, переслаиваясь в последующей эволюции еще более молодыми и захватывающими верховное положение образованиями. Здесь должно быть упомянуто еще одно осложнение, обусловливающее, в свою очередь, смещение важнейших отправлений центральной нервной системы и изменение их соотношений, качеств и удельных весов, — это отмечаемая всеми исследователями истории мозга, начиная с Monakow и Economo, прогрессивная "энцефализация" функций. Под этим термином подразумеваются два факта или, может быть, две стороны явлений: 1) прогрессирующая утрата самостоятельности и функциональное обеднение каудальных отрезков центральной нервной системы — спинного мозга и 2) постепенное перемещение "центров" тех или других физиологических функций мозга во все более орально расположенные ядра. Этот неуклонно совершающийся процесс может быть прямым образом связан с обрисованной выше сменой ролей и все более выявляющимся приматом головного мозга. Начиная с какого-то эволюционного момента, головные ганглии из положения обслуживающих и интегрирующих приборов при телерецепторах превращаются в доминирующий орган, в дальнейшем суверенно направляющий весь ход последующего развития. Примат центральной нервной системы в переживаемом периоде эволюции и ее определяющее влияние не только на узко анимальную сферу, но и на вегетатику, трофику, метаболизм, иммунобиологию и т.д. не вызывают сомнений.

Усложнение двигательных задач, неминуемо требующих разрешения со стороны особи, и само по себе совершается отнюдь не плавно и постепенно; наоборот, перемены в образе жизни, зоологическом окружении, экологической обстановке и т.д. приводят к накоплению все больших масс качественно новых координационных проблем с не встречавшимися ранее и не имевшими возможности войти в обиход особыми чертами смысловой структуры, двигательного состава, потребного сенсорного контроля и т.д. В течение какого-то времени животные справляются с этими необычными задачами при помощи своих наличных ресурсов; однако рано или поздно противоречие между новыми смысловыми и сенсорными качествами нахлынувших задач и неадекватными им координационными средствами животного приводит путем отбора к преобладанию особей, способных справиться с этими новыми качествами, и этим сразу, скачком, получить в свое распоряжение целый новый класс движений, однородных по своему типу и уровню сложности и сходных между собой по качествам потребного сенсорного контроля. Если бы эволюционное развитие совершалось по Ламарку, в порядке постепенного упражнения рабочих органов, то можно было бы, пожалуй, ожидать каких-либо гипертрофических, количественных, постепенно образующихся приспособительных изменений мозга. Но, осуществляясь по принципу отбора, развитие центральной нервной системы в ответ на новые классы двигательных задач не может протекать иначе, как в виде накапливающегося преобладания индивидуумов с качественно отличным, мутировавшим в каких-то отношениях мозгом. Возникновение в филогенезе очередной *новой мозговой надстройки* знаменует собой биологический отклик на новое *качество* или *класс двигательных задач.* Как будет показано ниже, это обязательно означает в то же время появление *нового синтетического сенсорного поля,* а тем самым и появление возможности реализации *нового класса* или *контингента движений,* качественно иначе строящихся и иначе управляемых, нежели те, которые были доступны виду до этих пор. Мы обозначаем всю перечисленную совокупность морфологических и функциональных сторон, характерных для такого нового класса движений, как очередной *уровень построения движений* и двигательных координаций.

Сказанное выше о линиях усложнения двигательных задач, возникающих перед организмом, позволяет оценить и те направления, по которым совершалось поочередное развитие возникавших один за другим координационных уровней построения.

Более новые в филогенезе, они же и более высокие, уровни становятся:

1) все более тесно связанными с телерецепторикой и надстроенными над ней обобщающими системами в коре головного мозга;

2) все более экстемпоральными, т.е. пригодными для осуществления разовых координационных решений и пластических переключений;

3) все более синтетичными, т.е. опирающимися на сложные психологически организованные синтетические сенсорные поля; наконец,

4) все более богатыми мнестическими элементами, накопленными из индивидуального опыта. В этих же направлениях изменяются и облики тех движений, и действий, которые ведутся на соответственных уровнях.

Каждый новый уровень приносит с собой комплект новых движений,

какие раньше были организму недоступны. Следует сразу отвергнуть как неверное, старое представление, будто филогенетически более молодые надстройки обеспечивают в основном новые качества координаций и, следовательно, будто каждый из разновозрастных мозговых морфологических этажей равнозначен какой-то одной стороне координационной отделки *любого* целостного движения. Каждый новый морфологический этаж мозга, каждый очередной функциональный уровень построения содержит и приносит с собой *не новые качества движений, а новые полноценные движения.* В нервной системе высокоразвитого позвоночного содержащимся в ней N структурным этажам и доступным для нее N уровням соответствует не N групп качеств движения, а N особых списков или контингентов движений, вполне законченных и биологически пригодных для решения определенных, посильных им задач. Было бы очень трудно понять, какой биологический смысл и какое оправдание своего существования могли бы иметь движения-недоноски, лишенные в течение долгих веков филогенетической эволюции какой-либо существенной группы координационных качеств или, наоборот, представляющие собой наборы второстепенных, вспомогательных качеств без самого главного смыслового определителя — фон без фигуры. В истории развития каждый из уровней построения, констатируемых у человека, был на каком-то этапе наивысшим (разумеется, с известными поправками в отношении эволюции контингентов — см. гл. III) и определял собой "потолок" координационных возможностей организма, обрывавший сверху список доступных ему в ту пору движений; но на каждом подобном этапе эти движения были вполне закруглены и координационно оформлены в меру тех скромных двигательных задач, какие им предстояло разрешать.

Всего ярче подкрепляется это положение о *контингентности движений каждого очередного уровня* клиническими фактами выпадений движений при четко локализованных очагах или четко системных поражениях в центральной нервной системе. В этих случаях как общий закон (уже подмеченный клинической невропатологией) выпадают *не качества всяких движений, а целые списки или классы движений* или их фоновых компонент. Что особенно поражает наблюдателя в подобных случаях, — это четкая *избирательность выпадений* и полная интактность других движений, иногда очень похожих по своему облику на выпавшие, но резко отличающихся от них своей смысловой стороной. Один больной не может поднять руку по приказанию "подними руку", но без затруднения поднимает ее по заданию "сними фуражку"; другой лишен непроизвольной мимики настолько, что производит впечатление страдающего полным парезом всей лицевой мускулатуры, и в то же время легко и точно выполняет любые произвольные движения губ, носа, век, лба и т.д. в порядке намеренного подражания или по словесному заданию; третий больной (гемиплегик) не способен к произвольным движениям в плечевом суставе парализованной руки, но может, особенно в полусне, в полунаркозе или в аффекте, выполнять те же движения как компоненты синергических непроизвольных актов; четвертый пациент не может по заданию начертить на бумаге кружок или косой крестик, но без всякого труда изображает на ней буквы "О" и "Х"; пятый не может ступить ни одного шага по гладкому полу, а разметка последнего равноотстоящими попереч-

ными полосками, как по волшебству, возвращает ему все возможности ходьбы и т.д. Таких примеров бесконечно много, и они чрезвычайно разнообразны. В этих случаях часто достаточно умело переключить выпавшее движение на другой, уцелевший уровень, изменив с этой целью формулировку двигательного задания, чтобы разом достигнуть едва ли не полной реституции.

Упомянутый выше принцип морфогенеза центральной нервной системы по типу обрастания приводит к тому, что центральная нервная система высокоразвитого позвоночного, например антропоида или человека, представляет собой своего рода геологический разрез, отображающий в сосуществовании всю историю развития нервных систем, начиная от диффузных невропилей низших беспозвоночных и простейших спинальных рефлекторных дуг первобытных хордовых. Все это воспроизведено в такой высокоорганизованной нервной системе, в ее последовательных наслоениях, этажах и надстройках с не меньшей точностью, чем, например, индивидуальная история дерева — в его древесных кольцах.

На фоне этого факта представляется очень интересным и многозначительным, что координационные *контингенты движений* человека образуют точно такого же рода симультанную рекапитуляцию всей истории животных движений, начиная от таких прадвижений, как перистальтикоподобные движения кольчатого червя или глотательно-рвотные движения голотурии. Такая рекапитуляция обнаруживает при этом неоспоримые преимущества перед невроморфологией, поскольку воспроизводит филогенез не в статике и не в символике гистологических обликов нервных ядер, ничего не сообщающих нам о своей функциональной сущности, а в динамике, в самих движениях, доступных точным сравнениям как по своему содержанию и смыслу, так и по своему оформлению, с движениями современных нам представителей всех ступеней филогенетической лестницы. У самого дна глубокой шахты, опускаемой нами в толщу двигательных координаций человека, мы находим древнейшие палеокинетические координации, отошедшие у высших позвоночных в удел вегетативным отправлениям: перистальтические движения кишечника, стрикционно-дилятационные движения в сосудистой системе, сфинктерах желудка, желчного пузыря, прямой кишки и т.п. Поднимаясь выше, мы встречаемся с первичными, самыми элементарными и по структуре, и по определяющей их афферентации неокинетическими координациями — спинальными рефлексами, подробно изученными школой Sherrington. Еще выше мы вступаем в область движений с более сложной биологической мотивировкой и с афферентацией, синтетически включающей как телерецепции, так и индивидуальные мнестические компоненты, — в область подлинной психофизиологии. Еще более кверху, еще в большей и более невозместимой мере зависящие от деятельности коры полушарий залегают самые молодые в филогенезе специфически человеческие координации, мотивы к возникновению которых уже никак нельзя свести к чисто биологической причинности: в первую очередь координации речи, письма и предметных, трудовых действий с их социально-психологической обусловленностью. Каждое из этих последовательных наслоений связано с очередным новым морфологическим субстратом, и каждое, как будет показано ниже, не отрицает нижележащих, более древних координационных напластований, но сливается с ними в очень своеобразный и многообразный синтез.

В последующих главах, начиная с третьей, будут даны общие характеристики этих последовательно формировавшихся и образовавших иерархическую систему *уровней построения;* попутно будут охарактеризованы важнейшие общие факты, относящиеся к теории координационной функции. Предварительно, однако, должны быть сделаны некоторые общие разъяснения.

Глава вторая

О ПОСТРОЕНИИ ДВИЖЕНИЙ

Двигательная система позвоночных включает в себя: а) пассивную часть — жесткий сочлененный скелет и б) активную часть — поперечнополосатую мускулатуру со всем ее оснащением. Пассивный двигательный аппарат составляется из костных звеньев, располагающихся преимущественно вдоль оси органов (аксиально), а потому не обеспечивающих устойчивости системы без постоянного активного участия мускулатуры[1]. Эти звенья подвижно сочленены между собой, образуя так называемые *кинематические цепи.* Мышечные массивы, анатомическое членение которых на отдельные мускулы имеет по большей части чисто морфологическое основание, без существенной значимости для биодинамики, облекают эти аксиальные кинематические цепи снаружи, повинуясь в своем размещении также преимущественно причинам чисто морфогенетического порядка, поскольку (эта теорема очень легко доказывается) биодинамическое и решающе важное значение имеет расположение и направление концевых отрезков *мышечных сухожилий,* в то время как расположение *мышечных брюшков* не имет никакого. В дальнейшем под скелетными кинематическими цепями будут подразумеваться не одни только кости с их суставами, а подвижные органы, взятые в целом.

Мера взаимной подвижности двух звеньев кинематической цепи определяется в механике числом так называемых *степеней свободы подвижности и деформируемости.* Каждая степень свободы подвижности более или менее точно совпадает с отдельным, независимым направлением подвижности в том или другом суставе. Одноосные, например блоковидные, суставы обладают

[1] Неокинетические двигательные системы (см. гл. III) имеют место в филогенезе у членистоногих и позвоночных. У обоих этих классов животных они принесли с собой быструю и мощную подвижность, резко отличающую их от более древних, мягкотелых классов. Но задача устойчивости (статокинетическая проблема) решена у членистоногих и позвоночных принципиально по-разному. У первых скелеты звеньев облекают их снаружи, как панцыри, не требуя мышечной активности для поддержания устойчивой позы. Это доказывается уже тем, что осторожно убитое насекомое (наркотизированное) не падает, как позвоночное. В связи с этим мышечная ткань членистоногих не несет статической нагрузки; она бедна саркоплазмой, грубо исчерчена и т.д.

Жесткие скелеты являются необходимым оборудованием для передачи динамических усилий быстрой и мощной поперечнополосатой мускулатуры. Почти единственное исключение представляет только бесскелетная поперечнополосатая мышца *сердца,* для которой заменою жесткого внешнего скелета служит гидродинамическое сопротивление, встречаемое ею в *несжимаемой жидкости крови.*

одной степенью; яйцевидные и седловидные суставы (соответствующие примеры: лучезапястный сустав и запястно-пястный сустав большого пальца руки) имеют по две, шаровидные суставы — по три степени свободы подвижности. Степени свободы подвижности характеризуют собой не размах или количественную меру подвижности (например, сгибаемости на большее или меньшее число градусов в сочленении), а качественную меру многообразия направлений и форм этой подвижности, которое может в некоторых случаях оказаться очень большим и при умеренных количественных амплитудах. Примерами могут служить: подвижность локтевой кости относительно плечевой, имеющая одну степень свободы, и деформируемость грудного отдела позвоночного столба, теоретически насчитывающая их 66.

Число степеней свободы взаимной подвижности звеньев кинематической цепи (или, иными словами, свободы деформируемости кинематической цепи) есть не что иное, как необходимое и достаточное число *независимых друг от друга координат*, которые должны быть назначены для того, чтобы поза органа оказалась вполне определенной. Так, например, для определения положения плеча относительно лопатки (при наличии у лопаточно-плечевого сочленения трех степеней свободы) необходимо и достаточно назначить три координаты (например, координаты сгибания — разгибания, приведения — отведения, продольной ротации). Очень важно отметить, что количество степеней свободы цепи не зависит от выбора той или иной системы координат или обозначений, т.е. является объективно присущим самой цепи. Заметим еще, что число степеней свободы деформации многозвенной цепи либо равно сумме чисел степеней свободы всех ее сочленений (так называемые незамкнутые цепи), либо несколько меньше ее (замкнутые цепи).

Подвижности кинематических цепей человеческого тела огромны и исчисляются десятками степеней свободы. Подвижность запястья относительно лопатки и подвижность предплюсны относительно таза насчитывают по 7 степеней, кончика пальца относительно грудной клетки — 16 степеней. Обладание подвижными пальцами обогащает подвижность и деформируемость руки по сравнению с передней конечностью, например, однокопытных четвероногих на 22 добавочных степени. Для сравнения укажем, что преобладающее большинство машин, работающих без непрерывного управления человеком, обладает при всей кажущейся сложности рычажных и шестеренных кинематических цепей *всего одной степенью свободы,* т.е. тем, что носит название *вынужденного движения*: например, многоцилиндровый дизель или газетопечатная ротационная машина. Две степени встречаются редко (например, центробежные регуляторы), три степени совершенно неупотребительны — настолько бурно возрастает сложность управления кинематическими цепями с прибавлением новых степеней свободы. Теоретически шестью степенями свободы обладает летящий снаряд (пушечное ядро, пуля, мина) — предмет изучения внешней баллистики. Здесь необходимо отметить: а) очень большую неточность управления его полетом и попаданием и б) необходимость пристрелки и корректировки, к чему мы еще вернемся ниже.

Указанное первое резкое отличие кинематических цепей живого тела от искусственных машин должно быть *самым выразительнмы образом подчеркнуто.*

Отсутствие в искусственных машинах кинематических цепей с многими степенями свободы объясняется чрезвычайно большими трудностями управления

движениями таких цепей. Самая основная из них состоит вот в чем. *Одна степень* свободы характеризует при любой сложности и многозвенности кинематической цепи так называемый *вынужденный тип* движения. Это значит, что в подобной системе каждая из ее подвижных точек неотрывно привязана к одной определенной траектории. Эта траектория может обладать любой формой, простой или сложной; точка имеет возможность двигаться по ней вперед или назад, быстрее или медленнее и т.д., но сам по себе путь движения для нее предрешен. Появление у системы еще хотя бы одной степени свободы сверх первой означает переход от одной траектории для каждой точки не к нескольким или даже многим, а к целому участку некоторой *поверхности,* по которой точка с двумя степенями свободы получает возможность двигаться абсолютно любым образом по *бесчисленному множеству* равнодоступных траекторий. Так, например, кончик пера, пока он не отрывается от поверхности бумаги, обладает двумя степенями свободы; при этом, очевидно, разнообразие доступных ему траекторий совпадает с разнообразием всего того, что когда-либо могло быть или было написано и нарисовано пером на листе бумаги.

Таким образом, переход от одной степени свободы, т.е. от вынужденного типа подвижности, к двум или нескольким степеням знаменует собой возникновение необходимости *выбора* или *трассирования* траектории движения. Живой организм всегда имеет возможность *обосновать* свой выбор и планировку той или другой траектории; для машины же необходимо в подобном случае предусмотреть специальное *устройство, способное целесообразно обеспечить* такого рода *выбор*, иначе движение будет обречено на хаотичность. Примером устройства указанного характера может служить автоматический жиро-пилот. Подвижность судна (рассматриваемого как материальная точка) на поверхности моря имеет как раз две степени свободы; жиро-пилот обеспечивает выбор среди бесконечного количества разновозможных для корабля траекторий той из них, которая отвечает заданному компасному курсу.

Следовательно, как вытекает из всего рассмотренного выше, между одной и несколькими степенями свободы имеет место очень важный принципиальный качественный скачок. Крайняя редкость в технике невынужденных подвижных систем объясняется прежде всего именно трудностями устройств для *автоматического непрерывного целесообразного выбора.* Кроме того, при многих степенях свободы у системы суммируются, конечно, и погрешности, приносимые каждой из степеней свободы; при большом количестве последних суммарная ошибка сможет вырасти до такой величины, которая покроет все преимущества, в принципе создаваемые богатым разнообразием подвижности сложной цепи. Например, если каждая из степеней свободы руки и пальца пианиста, сидящего за инструментом, даст погрешность всего в 1°, то, суммируясь, эти погрешности смогут дать отклонение кончика пальца на 5—6 см (хотя по отдельным звеньям, например, пальцевых фаланг, составляющие погрешности не превысят при этом 0,05 см), т.е. вызовут промахивание на терцию или кварту. Необходимо еще принять в расчет неизбежную кумуляцию погрешностей во времени, не устранимую никакой феноменальной точностью первоначальной пригонки движущихся частей, к тому же в кинематических цепях живого тела позвоночных заведомо не очень высокой.

Еще более существенное значение имеют *осложнения динамические.* В сложной кинематической цепи, каждое звено которой обладает известной тяжелой и инертной массой, всякая сила, возникающая в одном из звеньев, тотчас же вызывает целую систему *реактивных* или отраженных сил, передающихся на все остальные звенья. Это взаимное влияние звеньев цепи друг на друга во всех мыслимых сочетаниях создает в общей совокупности огромное количество силовых взаимодействий, совершенно необозримое математически и представляющее непреодолимые трудности для аналитического решения. Эти реактивные силы наслаиваются на те силы, которые находятся в распоряжении организма для управления движениями системы, и на внешние силы, подвластные ему всегда лишь в большей или меньшей степени, и делают общую динамическую картину движения цепи чрезвычайно осложненной, а главное — практически *непредусмотримой* из-за их крайней механической запутанности. Сделать движение многозвенной цепи *точным* все-таки возможно, хотя бы в теории, для этого достаточно повысить в неимоверной степени точность пригонки ее частей друг к другу. Сделать такую многозвенную цепь *послушной* невозможно принципиально, потому что никакая теория не в состоянии управиться с бурно возрастающим изобилием и сложностью реактивных сил и взаимодействий между звеньями цепи. Для такой системы, как, например, рука, удается определить математически лишь самый начальный момент ее движения под действием той или иной мышцы. Установить, как потечет движение дальше, оказывается уже неразрешимой задачей.

Для того чтобы *статически* зафиксировать позу сложной кинематической цепи, необходимо закрепить каждую из имеющихся у нее степеней свободы независимыми друг от друга связями, по одной на каждую степень. Роль этих связей в организме позвоночного большей частью исполняют мышцы, реже и в известном проценте — внешние силы. Совершенно аналогичное положение создается *и в динамике.*

Как бы сложна ни была кинематическая цепь, ее движение всякий раз оказывается хотя и не предусмотримым заранее, но, очевидно, совершенно определенным и потенциально доступным сколь угодно точному динамическому анализу post factum. Следовательно, при как угодно обусловленном движении любой кинематической цепи равнодействующие всех приложенных к ней сил и моментов фактически свяжут все степени свободы ее элементов, кроме одной для каждого, — той, по которой в действительности совершилось подвергшееся наблюдению движение. Таким образом, если, кроме статических сил, принять в расчет и все динамические, то можно трактовать любое движение какой угодно цепи как *динамически вынужденное,* причем место недостающих связей для закрепления избыточных степеней свободы занимают динамические силы, внутренние и внешние. От этого, однако, не получается много проку. Спора нет, что совокупность всех действующих сил, и внутренних, и реактивных, и внешних, свяжет все избыточные степени свободы звеньев и поведет эти последние по каким-то вполне определенным траекториям, но только траектории эти имеют все основания оказаться не теми, которые нам нужны.

Очевидно, мы вправе назвать кинематическую цепь *управляемой* только в том случае, если мы в состоянии *назначить* определенные, желательные для

нас траектории (и скорости) движения для каждого из элементов цепи и *заставить* эти элементы двигаться по назначенным им путям. А для этого нужно, чтобы мы всегда располагали реальными средствами для связывания избыточных степеней свободы такой цепи, т.е. так или иначе имели в повиновении всю совокупность тех сил, которые возникают и разыгрываются при движении цепи. *В этом преодолении избыточных степеней свободы движущегося органа, т.е. в превращении последнего в управляемую систему,* как раз и заключается основная задача *координации* движений.

Трудность, зависящая от того, что у организма всякий раз оказывается в повиновении только небольшая часть всех тех сил, равнодействующие которых обусловливают движения цепи, сама по себе уже очень велика, особенно если принять во внимание ту щедрость, с какой организм наделяет свои кинематические цепи степенями свободы. Уже одна эта "беззаботность" к количеству степеней свободы должна бы подсказать, что свойственный ему принцип управления в корне отличается от знакомых нам в настоящее время по искусственным сооружениям. И, несмотря на это, в течение долгих десятилетий развития нервной физиологии держалось (а в учебниках и до настоящего времени держится) убеждение, что зависимость между мышечным напряжением и движением столь же проста, пряма и однозначна, как, например, зависимость между движениями поршня паровозного цилиндра и вращениями ведущего колеса. К сожалению, в фактическом материале биодинамики мы имеем множество случаев, когда на всем протяжении кинематической цепи включены *только сгибательные мышцы,* а при этом все сочленения этой цепи испытывают *только разгибательные угловые ускорения,* или наоборот. Случаи же, когда мышца, переброшенная через сочленение *A*, вызывает угловые ускорения во всех прочих сочленениях *B, C, D...* и т.д. кинематической цепи, резко преобладают над случаями, когда она этого не делает. Ниже будет проанализировано несколько типичных примеров указанного характера. И вот, как будто для того, чтобы, наконец, пробудить наше внимание и заставить всмотреться в реальный координационный процесс, природа нагромождает на осложнения, связанные с огромной свободой подвижности скелетных кинематических цепей, еще одну трудность, в свою очередь намного осложняющую проблему центрального управления движением. Эта новая трудность в том, что двигателями кинематических цепей организма служат *упругие тяжи,* перекинутые между звеньями, — *скелетные мышцы.*

Дело в том, что поперечнополосатая мышца представляет собой своеобразно упругое образование, хотя и не дающее прямой пропорциональности между приростами длин и приростами напряжений, но тем не менее характеризуемое для каждого из своих физиологических состояний вполне определенной кривой зависимости между обеими этими величинами. Иными словами, напряжение мышцы (или, что одно и то же, развиваемое ею усилие) есть функция сразу двух переменных: ее физиологического состояния и ее наличной длины. Полная картина зависимости между эффекторным процессом или физиологическим состоянием мышцы, с одной стороны, и развиваемым ею напряжением — с другой, может быть представлена только в виде целого семейства кривых (рис. 3). Каждая кривая подобного семейства изобра-

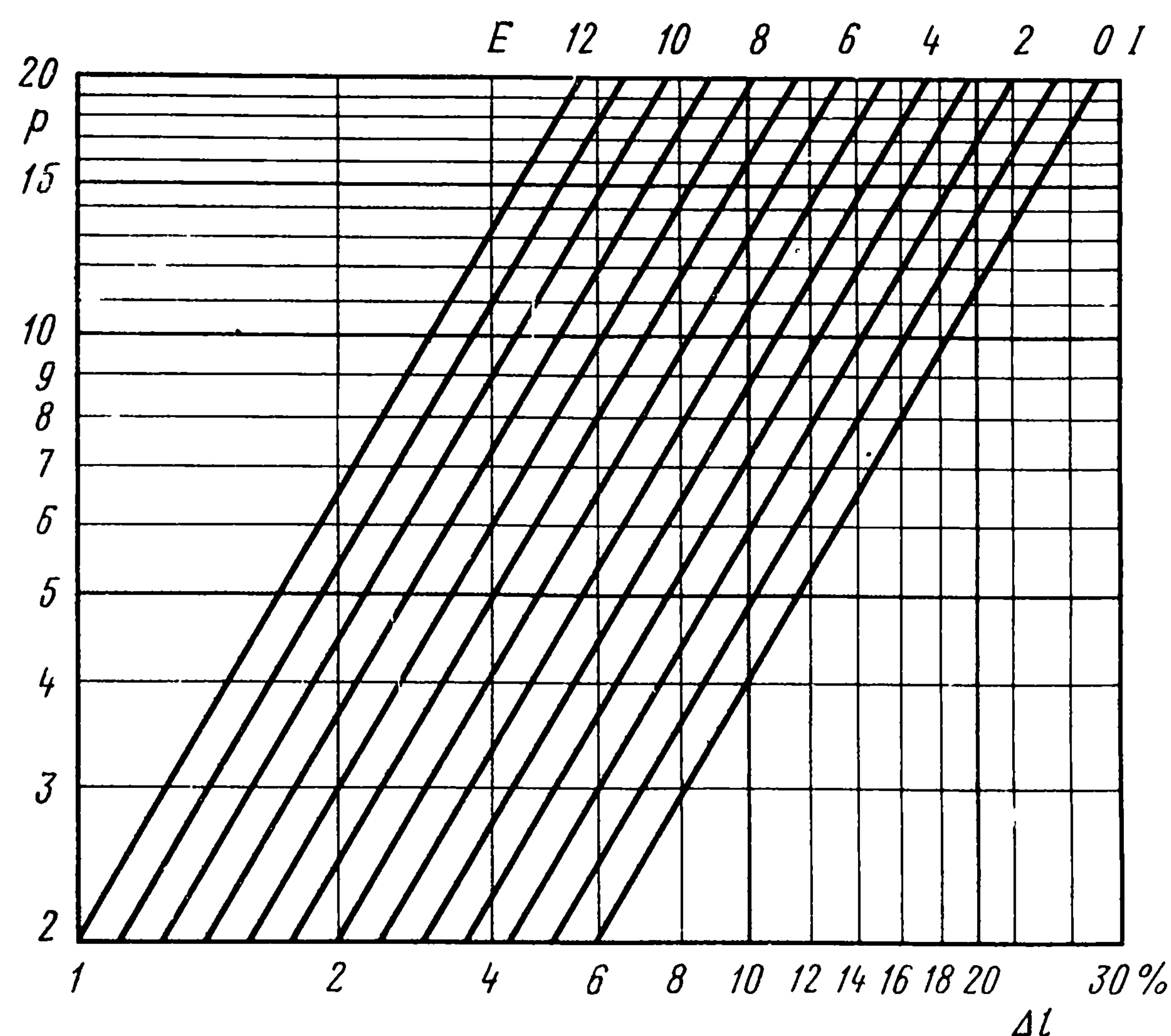


Рис. 3. Семейство линий зависимости между мерой возбуждения, длиной и напряжением мышцы (схема)
Линии *0—12* соответствуют постепенному нарастанию механической меры возбуждения мышцы от полной денервации (*I*) до наивысшей дозы возбуждения (*E*); по абсциссам отложены (по логарифмической шкале) процентные изменения длины мышцы по отношению к максимальному сокращению, принятому за 1; по ординатам также в логарифмическом масштабе — приросты напряжения *P*. Подробности в тексте

жает то или другое физиологическое состояние мышцы[1]; каждая точка такой кривой — степень напряжения как функцию длины при этом физиологическом состоянии. Посылая в мышцу какую-то определенную совокупность импульсов, центральная нервная система назначает этим одну из кривых упомянутого семейства, но, как это легко понять, отсюда еще очень далеко до того , чтобы определилась та или другая точка на этой кривой, т.е. фактически развиваемое мышцей усилие. Итак, получается, что из всей совокупности сил, определяющих движение сложной кинематической цепи, — сил внутренних, реактивных и внешних — организму хотя в некоторой мере подвластна только первая категория сил; но, как мы сейчас убеждаемся, и по отношению к этим внутренним силам нет и не может быть однозначной зависимости между эффекторным процессом и возникающей за счет его силой. При той же самой импульсации она может оказаться двадцать раз подряд совершенно разной в зависимости только от позы (и скорости деформации) кинематической цепи — от переменных, которые, в свою очередь, в очень многом зависят от не подвластных организму внешних и реактивных сил.

[1] То есть функцию процентного количества активно работающих мионов, качества включенных в работу мионов, параметров возбудимости каждого из них и т.д.

На самом деле положение еще сложнее, чем это казалось до сих пор. Напряжение, развиваемое мышцей, так или иначе входит составной частью в систему тех сил, которые вызывают перемещения и деформации кинематической цепи. При деформации цепи смещаются и точки прикрепления концов мышцы к костям, т.е. происходит вторичным порядком изменение ее длины в ту или другую сторону[1]. Таким образом, изменение напряжения мышцы изменяет ее наличную длину, а это изменение длины вызывает, в свою очередь, изменение напряжения мышцы. Здесь имеет место кольцевая взаимозависимость причин и следствий, выражаемая на языке математики дифференциальными уравнениями второго порядка[2]. Мы обозначаем эту кольцевую зависимость как *периферический цикл взаимодействий.*

Итак, между мышечным напряжением и результирующим движением нет и не может быть однозначной зависимости; здесь имеет место *принципиальная неопределенность*[3]. В этом факте — второе капитальное различие между механикой живого организма позвоночного и механикой искусственных сооружений.

Могло бы показаться, что система звеньев, соединенная не одной упругой связью, как в рассмотренном выше случае, а двумя связями-антагонистами (рис. 4,5), свободна от указанной неопределенности. На самом деле отличие здесь только кажущееся. Систему с двумя упругими антагонистами можно точно так же привести в любое угловое положение соответственным подбором внешних сил, как бы в данный момент ни вели себя упругие связи системы. При *заданных неизменных внешних силах* организм может, правда, так подобрать соотношения напряжений в обоих антагонистах, чтобы обеспечить любой желаемый угол в шарнире; но достаточно внешним силам перемениться, чтобы для того же самого угла потребовались уже совершенно другие соотношения напряжений. А так как и в этом примере внешние силы никак не зависят от центральной нервной системы, то положение о принципиальной неопределенности остается в полной силе.

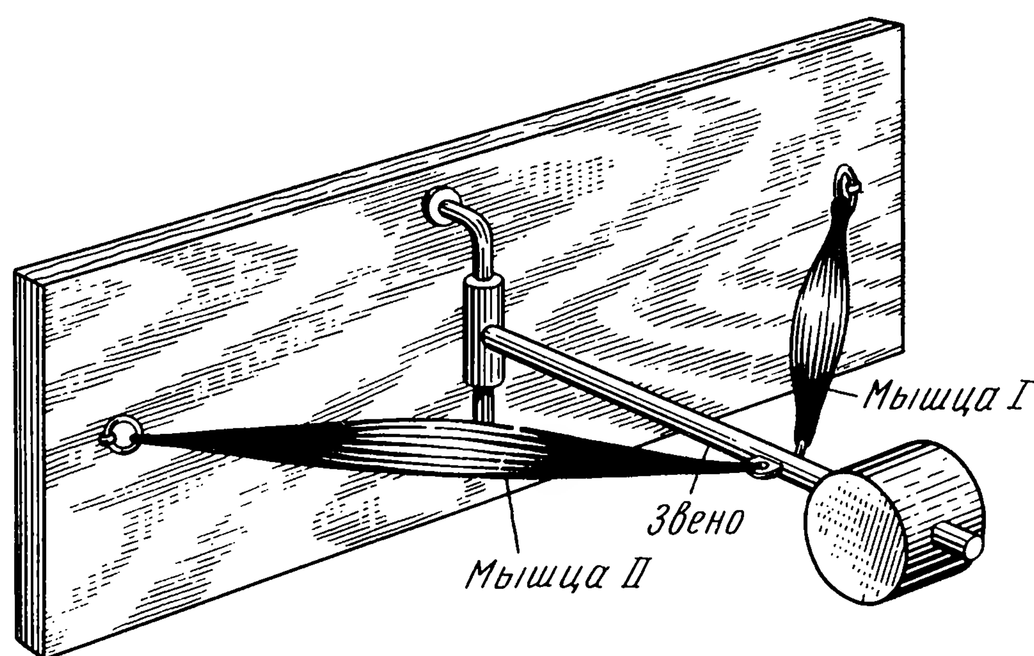
Следует еще заметить, что для данной мышцы внешними силами являются, по сути дела, не только силы строго внешние, как, например, сила тяжести, сила нападающего противника и т.п., но и силы мышц других, удален-

---

[1] Из этого вывода, как заметит внимательный читатель, следует, что сокращение мышцы есть не причина движения, а его следствие. При всей кажущейся парадоксальности это заключение верно, и действительная последовательность причин и следствий здесь такова: 1) изменение напряжения мышцы, 2) смещение костей с находящимися на них точками прикрепления концов мышцы, 3) изменение длины мышцы. Точно так же, например, расширение пара в паровом цилиндре есть не причина, а следствие движения поршня, в то время как причиной этого движения является давление пара.

[2] Указанная кольцевая взаимозависимость еще несколько осложняется тем обстоятельством, что при движениях в сочленении изменяется угол между осью мышцы и осями соединенных с ней костных звеньев, т.е. изменяется плечо рычага, входящее сомножителем в выражение вращающего силового момента мышцы. Вследствие этого уравнение, которое должно выражать зависимость между мышечным силовым моментом и движением, становится более сложным, и его уже не удается представить в виде простого дифференциального уравнения второго порядка, который оно имело бы без указанного добавочного осложнения.

[3] *Неопределенность не означает неопределимости.* Последнее выражение обозначало бы отрицание причинности; первое выражает лишь *отсутствие однозначности* (сравнить, например, термин "неопределенные уравнения").



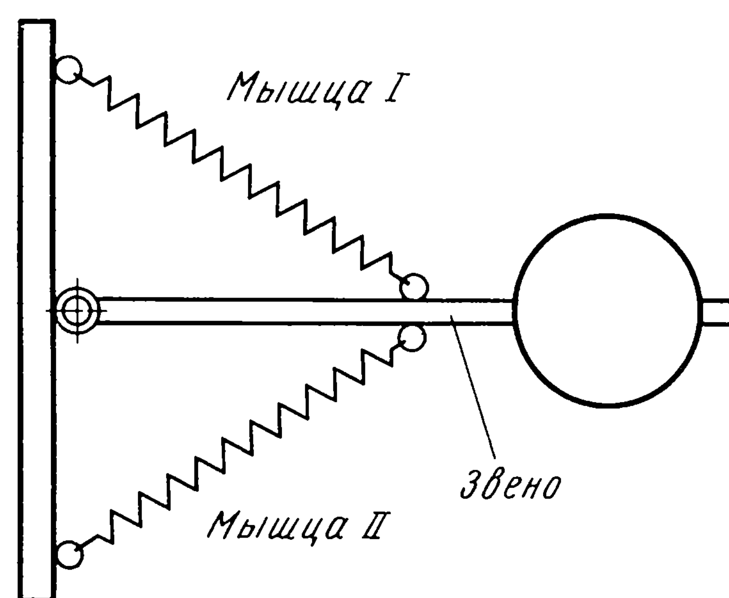


Рис. 4. Подвижное звено, управляемое в его движениях двумя мышцами-антагонистами

Рис. 5. Схема-план системы, изображенной на предыдущем рисунке. Подробности см. в тексте

ных суставных систем самого организма в их прямом и реактивном действии. Если строго внешние силы вообще невозможно предучесть, кроме немногих исключений, то этот второй вид сил, так сказать, условно внешние силы, организм в принципе мог бы предучесть и скоординировать заранее, так как от него самого зависит послать в определенную мышечно-суставную группу те или другие импульсы. Но достаточно вспомнить сказанное выше о не поддающейся никакому анализу сложности реактивных взаимодействий в многозвенных цепях, чтобы понять, что практически предучесть эти реактивные силы и то, как они скажутся на движении какой-нибудь удаленной подвижной части тела, все равно невозможно. Если для сообщения данному суставу того или другого углового положения или угловой скорости недостаточно создать определенное соотношение между упругостями двух его мышц-антагонистов, а необходимо еще в широких пределах изменять и дозировать это соотношение в зависимости от того, каковы позы, нагрузки и ускорения во всех окружающих суставах, то это значит, что между состоянием мышц данного сустава и его движением *нет постоянной однозначной зависимости*. Следовательно, и по отношению к реактивным силам справедливо все сказанное выше о силах внешних. Более того: поскольку реактивные силы в многозвенных цепях почти всегда и сложнее, и изменчивее, чем силы чисто внешние, постольку искажающее и осложняющее влияние первых на динамику движения значительно больше, чем влияние вторых.

Ниже будет рассмотрено, каким путем центральная нервная система выходит из перечисленных трудностей координирования движений. Здесь необходимо только указать, что осложнения, вносимые вмешательством внешних реактивных и инерционных сил и фактом неоднозначности связи между мышечным возбуждением, напряжением и движением, гораздо более часты и значительны, чем это обычно думают. Весь длительный опыт нашей экспериментальной работы над движениями человека показал, что случаи, когда при данном движении фактически напрягаются совсем другие мышцы, в другое время и другим образом, чем это ожидалось бы по элементарному анатомическому анализу, гораздо более часты, чем те, когда поведение мышц до конца понятно и классично. Есть много элементов движений, в которых пока вообще не удается доискаться объяснения поведения каждой мышечной группы; в иных

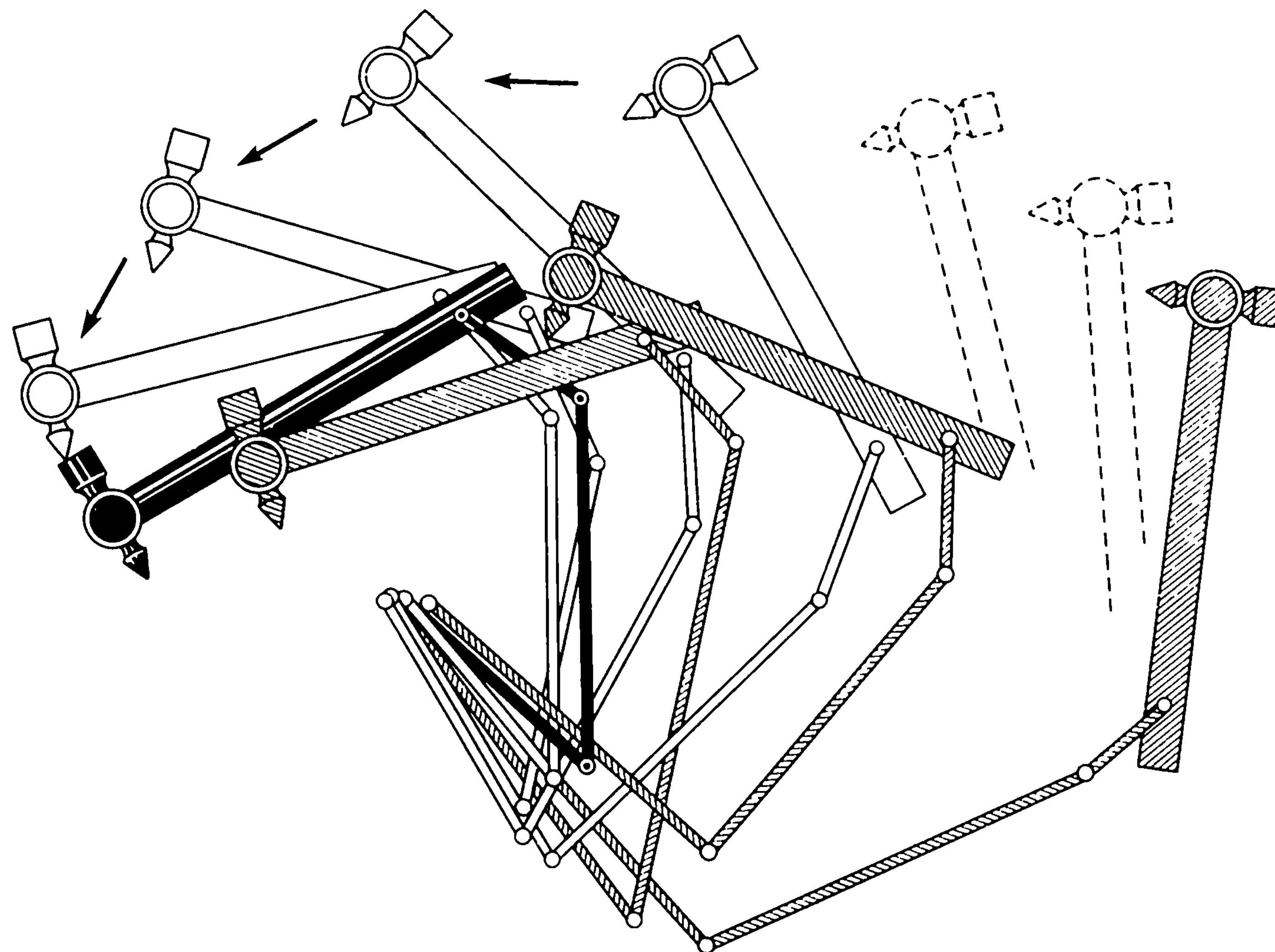


Рис. 6. Последовательные положения руки и молотка при рубке зубилом
Наверху — замах, внизу — удар. Четыре позы, соединенные стрелками, — фазы замахового движения, во время которых усилия направлены вперед (работа автора, 1923 г.)

случаях анализ внешней и реактивной динамики доступен и ясно обнаруживает логику этих неожиданных для первого взгляда мышечных действий, но эта логика далеко отличается от элементарной школьной логики учебников.

Рассмотрим несколько примеров.

I. Эффект действия инерционных сил

При рубке зубилом около половины всего движения замаха (рис. 6) совершается при активном напряжении всех мышц, тянущих руку *вниз и вперед*, хотя движение направлено в это время *вверх и назад*. Это объясняется тем, что рука с молотком, обладающая в сумме значительным моментом инерции и получившая в первой половине замаха довольно большую инерцию движения назад за счет сил отдачи и мышечной активности, должна быть остановлена и при этом деформирована, натягивая разгибательные мышцы так, как это требуется для нанесения удара. Пример движений, совершающихся против направления действия мышц, можно встретить во всевозможных ритмических движениях (ходьба, бег, игра на фортепиано и т.п.). Этот случай прост для анализа, так как указанная противоположность выдает себя замедляющимся характером движения.

II. Эффект действия внешней силы тяжести

Окончание гимнастического движения выхода в стой на кистях (рис. 7) состоит в медленном поднимании всего тела вверх посредством постепенного распрямления локтевых суставов. Вследствие своей медленности движение никак не осложнено инерционными или реактивными силами. Тем не менее оказывается, что разгибание локтей на угол в 90° настолько сильное, что оно поднимает кверху весь корпус, совершается не разгибателями локтя, почти бездействующими, а мышцами, дающими *переднюю флексию плечевого сочленения* (m. deltoideus, m. pectoralis major, m. serratus anterior).

Объяснение этого своеобразного случая работы сильно нагруженного сустава против нагрузки целиком за счет не проходящих через него мышц довольно просто. Из рис. 7 видно, что на протяжении описываемого движения общий центр тяжести тела находится

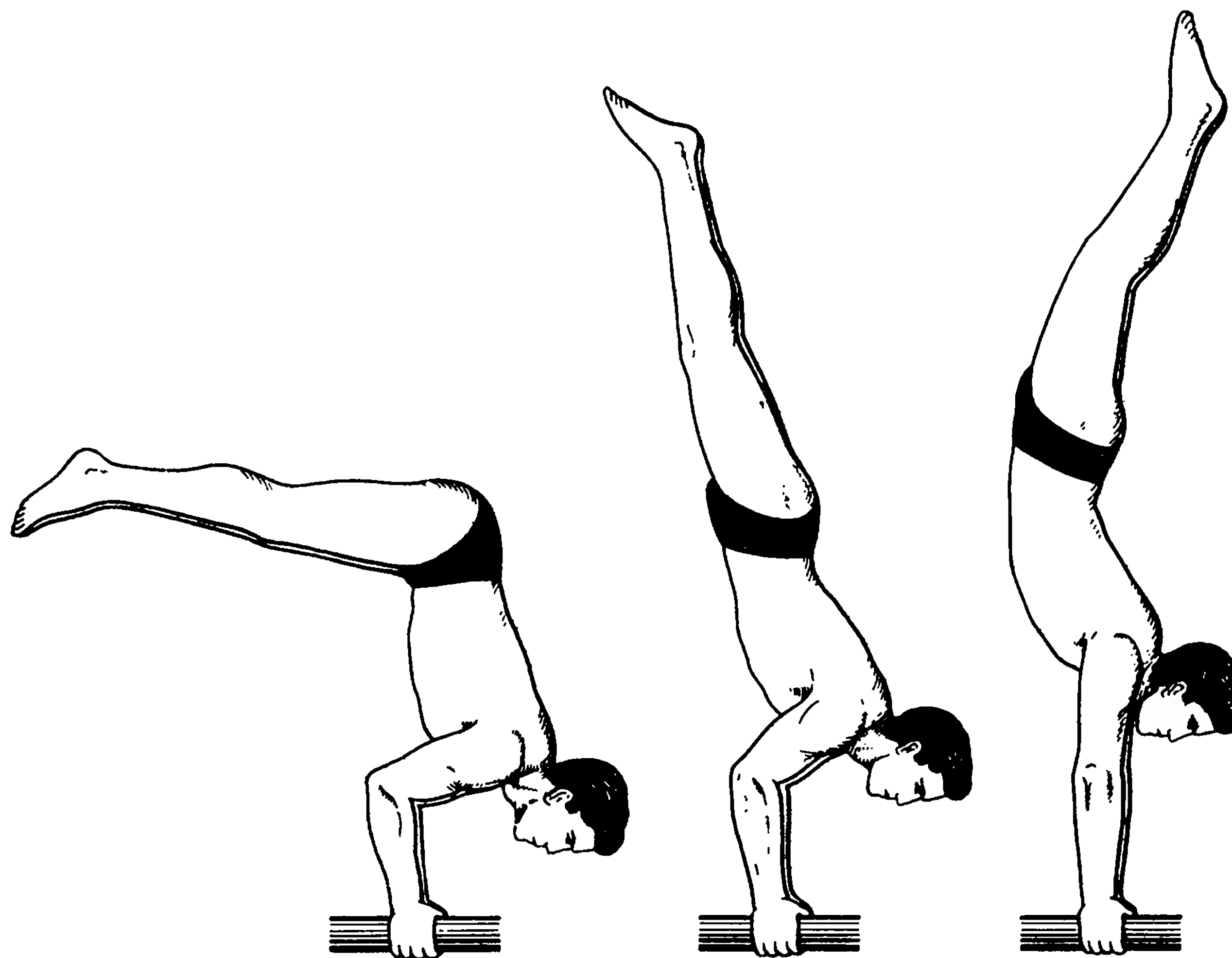


Рис. 7. Три последовательные фазы подъема в стой на кистях
Движение разгибания локтей совершается за счет работы мышц-сгибателей плечевого сочленения (работа М. Украна, ГЦОЛИФК — лаборатория изучения движений ЦНИИФК)

в одной вертикальной плоскости с обеими точками опоры — кистями (иначе при медленном движении гимнаст утратил бы равновесие), с осями предплечий и обоими локтевыми суставами. Момент силы тяжести относительно этих суставов близок к нулю, а, следовательно, по правилу равенства действия и противодействия близки к нулю и моменты локтевой мускулатуры. Напряжение разгибателей локтя при позах рис. 7 привело бы не к подъему тела, а к опрокидыванию его против часовой стрелки.

Из всех сочленений руки момент силы тяжести велик только для плечевых суставов; их-то мускулатура и работает, увеличивая угол между плечами и туловищем и этим поднимая тело гимнаста.

III. Эффект действия рективных и инерционных сил

Этот пример сложнее предыдущих. При беге, вскоре после отрыва маховой ноги от опоры, начинается интенсивное, *ускоренное сгибание ее колена* (рис. 8) с большой угловой скоростью, достигающей у спринтеров 3,6—3,7 об/с, — скоростью вращения колес паровоза экспресса на полному ходу. Это движение, подтягивающее пятку к самой ягодице за 0,15—0,10 с, совершается почти на всем протяжении при значительном перевесе напряжения *разгибателей колена.* В случае бега мирового рекордсмена Лядумега это сгибание при общей длительности 0,273 с в течение первых 0,198 с совершается ускоренно и лишь в течение остальных 0,075 с — замедленно, причем как раз в конце этого последнего интервала, когда работа разгибателей находит себе внешнее отражение в замедлении сгибания, наступает на 0,011 с перевес сгибательной мускулатуры.

В самых общих чертах явление это объясняется тем, что отброс стопы кверху от опоры, совершающийся главным образом за счет реактивного эффекта от контралатеральной ноги, настолько силен, что стопу не только не приходится гнать кверху активным сгибанием колена, а, наоборот, приходится притормаживать ее для предохранения от удара ее об ягодицу.

IV. Эффект действия реактивных и инерционных сил

Пример аналогичен предыдущему и также заимствован из исследования автора по бегу. После прохождения маховой ноги мимо опорной (рис. 9) в первой имеет место: а) падение продольной скорости колена, т.е. притормаживание бедра, и б) убыстрение движения стопы вперед,

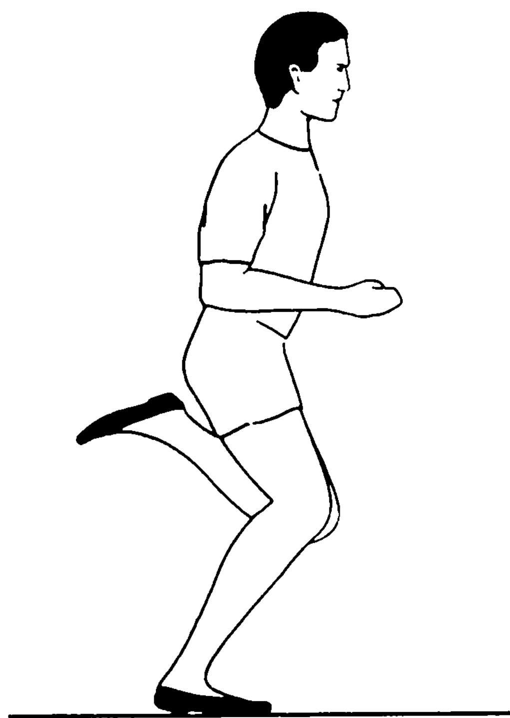


Рис. 8

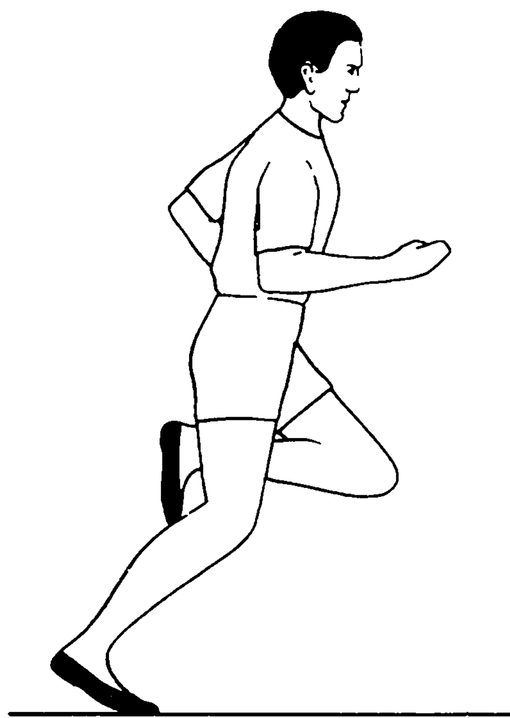



Рис. 9

Рис. 8. Одна из фаз бега мирового рекордсмена Ж. Лядумега
Фаза, в которой у мастеров бега, как правило, убыстряющееся сгибание колена задней ноги протекает при непрерывном перевесе разгибательных напряжений в коленной мускулатуре (работа автора, ЦНИИФК, 1936—1939 гг.; фото автора переведено в схему. — *Примеч. ред.*)

Рис. 9. Фазы бега мирового рекордсмена Ж. Лядумега, дающие резкое противоречие между направлениями мышечных усилий и угловых ускорений в сочленениях маховой ноги (работа автора, ЦНИИФК, 1936—1939 гг.; фото автора переведено в схему. — *Примеч. ред.*)

т.е. разгибательное угловое ускорение в коленном сочленении. Сопоставление того, что при этом казалось бы необходимым ожидать от мышц, с тем, что совершается на самом деле, удобнее всего сделать в виде следующей таблички:

Сочленение	Его поза (см. рис. 9)	Наблюдаемое ускорение движения	Усилие, ожидаемое по "логике"	Усилие, имеющее место в действительности
Тазобедренное	Сильно разогнуто (вперед)	Замедляет свое разгибание (подвергается сгибательному ускорению)	Сгибательное (?)	Падение ранее бывшего сгибательного усилия до нуля (волна ζ)
Коленное	Максимально согнуто	Максимум разгибательного ускорения	Разгибательное	Большая сгибательная волна (ζ)

Итак, все происходит как раз наоборот, особенно ярко — в коленном сочленении. В примере I направлении *ускорения* совпадало с направлением мышечных усилий, хотя направление *движения* и было противоположно последним. В данном примере имеют место противоречия между направлениями мышечных усилий и результирующих ускорений. Это было бы немыслимо в динамике материальной *точки*; в динамике же связанной кинематической системы подобные противоречия могут обусловливаться столкновениями реактивных и инерционных сил. Общее объяснение как описанного случая, так и других подобных ему — в том, что в направлении наблюдаемого фактического ускорения

2. Зак. 4414

на звено действуют мощные реактивные силы, и собственных мышечных усилий, хотя они и направлены в прямо противоположную сторону, не хватает на то, чтобы полностью погасить реактивную силу, так что она все-таки ускоряет движение звена в своем направлении.

Трудность, создаваемая для планомерной координации фактами неоднозначности и кольцевой зависимости, сама по себе настолько глубока и принципиальна, что на ее фоне стушевываются обрисованные выше трудности, связанные с непослушностью цепей со многими степенями свободы. Этим и объясняется то, что мы позволили себе выше образно назвать беззаботностью природы по части изобилия допускаемых ею степеней свободы подвижности: находя путь к преодолению принципиальной трудности неоднозначности, она тем самым полностью решает менее трудную и непринципиальную задачу многостепенности, а тут уже, как мы скоро увидим, действительно все равно, будет ли перед нами цепь о пяти или семидесяти пяти степенях свободы.

Путь, найденный природой к преодолению охарактеризованных трудностей, прямо подсказывается тем фактом двоякой обусловленности мышечных напряжений, который мы выше интерпретировали посредством семейств кривых (см. рис. 3). Раз при данном физиологическом состоянии мышцы напряжение ее зависит от ее наличной длины (мы пока отвлекаемся от осложняющего влияния мышечной вязкости, которое принципиально не меняет дела), значит, центральная нервная система будет реально в состоянии придать мышце то или иное требующееся напряжение в том и только в том случае, если она будет в курсе этой наличной длины мышцы и всех претерпеваемых ею изменений. Решение вопроса о неоднозначности лежит в использовании для регулирования эффекторного процесса *сензорных сигналов* о позе кинематической цепи и о мере растяжения каждой из влияющих на ее движения мышц. Далее уже легко представить себе, что при наличии такого непрерывно текущего потока сигналов с периферии центральной нервной системе в принципе нетрудно справиться с любой расточительностью по части степеней свободы подвижности. Действительно, как только орган, находящийся под действием внешних и реактивных сил, плюс еще какая-то добавка внутренних мышечных сил отклонится в своем результирующем движении от того, что входит в намерения центральной нервной системы, эта последняя получит исчерпывающую сигнализацию об этом отклонении, достаточную для того, чтобы внести в эффекторный процесс соответственные адекватные поправки. Весь изложенный принцип координирования заслуживает поэтому названия *принципа сензорных коррекций*[1].

Сказанное вполне объясняет, почему расстройства в эффекторных аппаратах центральной нервной системы, как правило, не влекут за собой чистых нарушений координации, давая только синдромы параличей, парезов, контрактур и т.п., и почему обязательно непорядки в *афферентных* системах вызывают нарушения движений атактического типа, т.е. расстройства координации. Ниже будет показано, что афферентным системам, кроме вторично-коррекционной,

---

[1] В моторике животных — носителей гладкой мускулатуры — принцип сензорных коррекций не играет ощутимой роли, что очень характерным образом отражается в их движениях: а) преимущественно метамерных и б) хаотически ощупывающих.

принадлежит еще очень важная для двигательного процесса инициативная, установочная и пусковая роль; поэтому не удивительно, что в результате чисто афферентационных нарушений нередко возникают, кроме дискоординаций, даже и расстройства с четким обликом параличей, парезов и т.п., с хорошим восстановлением движений после каких-либо викарных возмещений утраченной афферентации.

Все известные в клинике формы органических расстройств координации всегда связаны с заболеваниями *рецепторных* аппаратов и их проводящих путей: вестибулярных аппаратов (лабиринтная или вестибулярная атаксия), рецепторных систем мозжечка (церебеллярная атаксия), задних столбов спинного мозга, проводящих проприоцептивную и тактильную импульсацию (табетическая атаксия) и т.д. Экспериментально у животных перерезка двигательных (передних) корешков одной из конечностей ведет к параличу этой конечности, тогда как перерезка задних корешков (деафферентация) приводит к резким нарушениям координации. У лягушки деафферентация задней лапки может не дать заметных на глаз признаков расстройства координации; но достаточно парализовать или ампутировать унилатеральную переднюю конечность, чтобы последовало немедленное резкое нарушение координации в ранее деафферентированной задней лапке. Очевидно, наличие нормальной подвижности в передней лапке создает какую-то обходную (коллатеральную) компенсацию для обесчувствленной задней, и на этой компенсации, как на ниточке, кое-как держится координация задней лапки. Но достаточно перерезать и эту ниточку, никак не трогая задней конечности, чтобы дискоординация обнаружилась в ней в полной мере.

И у человека возможны компенсации, способные преодолеть в той или иной мере органическую атаксию; и всегда они осуществляются путем включения в двигательный процесс нового вида чувствительности. Известно, как резко ухудшаются движения табетика при закрывании глаз, т.е. в какой большой мере используется им для компенсации зрение. Восстановление в той или иной мере походки у тех же табетиков хорошо удавалось иногда при помощи бандажей, производивших переменное давление на кожу живота при движениях бедер, вызывая этим компенсационные осязательные ощущения.

Как будет показано ниже, *все виды афферентации организма принимают* в разных случаях и в разной мере *участие в осуществлении сензорных коррекций.* Иными словами: каждому виду и качеству чувствительности доводится в очередь с ее основной экстероцептивной (иногда и энтероцептивной) работой выполнять функции наблюдения за движениями собственного тела и сигнализировать о них в центральную нервную систему в порядке выполнения сензорных коррекций. Используя и далее терминологию Sherrington, мы назовем всю совокупность рецепторных отправлений этого рода *проприоцепторикой в широком, или функциональном, смысле.* Однако сам основной факт, в первую очередь требующий подобного корригирования, — факт зависимости мышечного напряжения от *длины мышцы* — говорит о том, что самое первоочередное и непосредственное участие в реализации этих коррекций *принимает проприоцептивная система в узком смысле слова* — система сензорных сигналов о позах, сочленовных угловых скоростях, мышечных растяжениях и напряжениях. Мышца, вызывая своей деятельностью изменения в

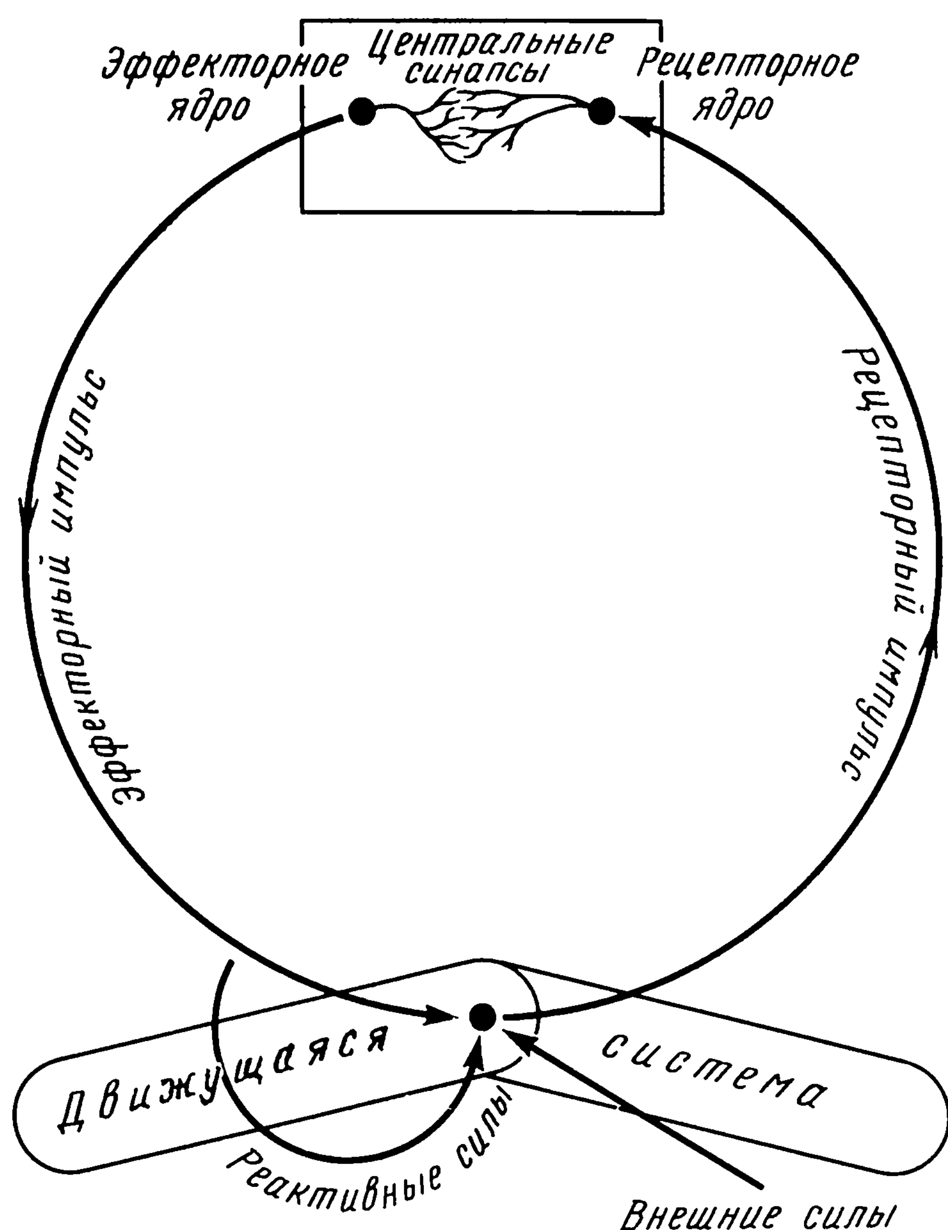
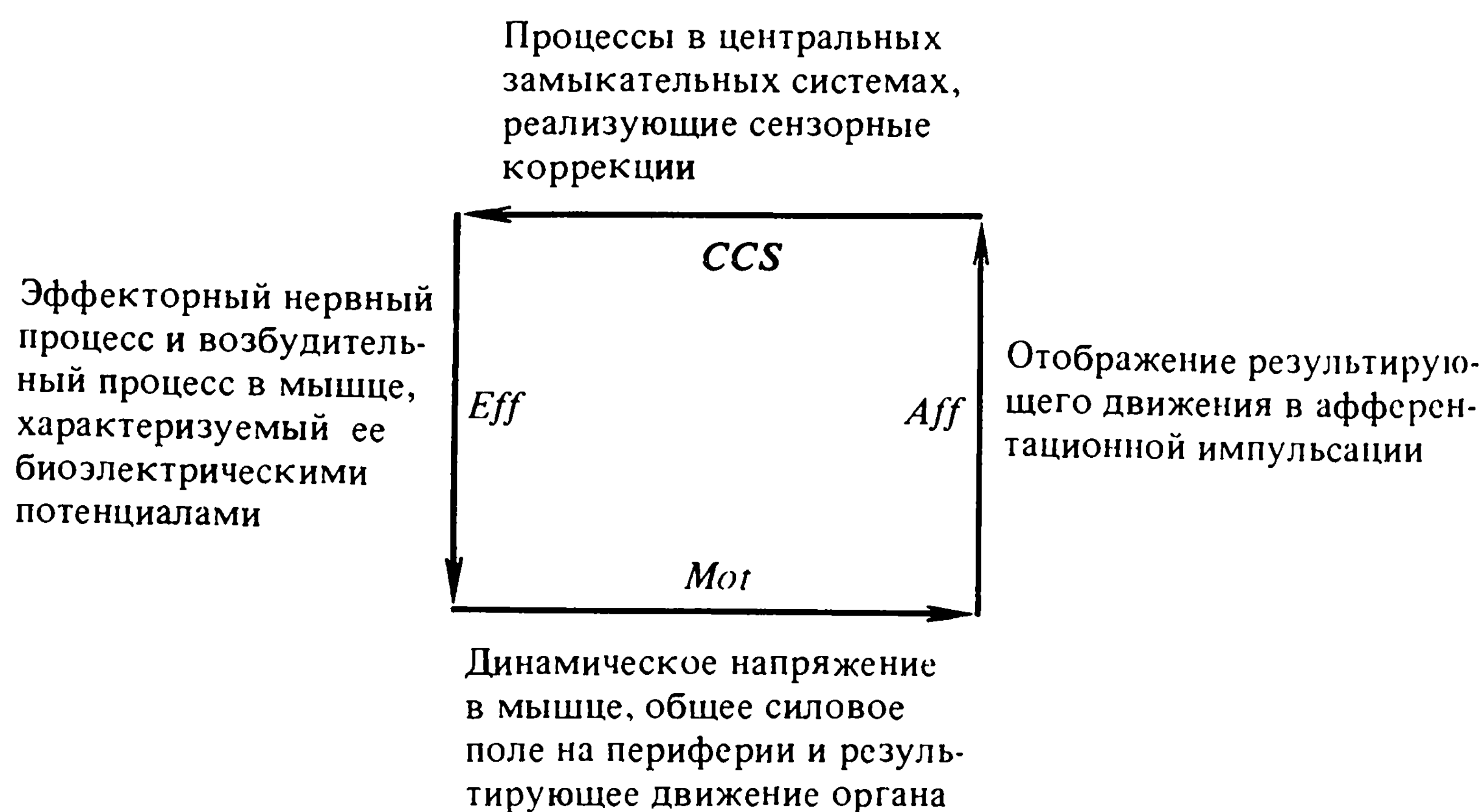


Рис. 10. Схема проприоцептивного рефлекторного кольца

движении кинематической цепи, раздражает при этом чувствительные окончания проприоцепторов sensu stricto ("*периферийное замыкание*"), а эти проприоцептивные сигналы, замыкаясь в центральной нервной системе на эффекторные пути, вносят изменения в эффекторный поток, т.е. в физиологическое состояние мышцы ("*центральное замыкание*"). Перед нами, таким образом, не рефлекторная дуга, а другая форма взаимоотношений между афферентным и эффекторным процессом, характеристическая для всех координационных процессов, — *рефлекторное кольцо* (рис. 10). Таким образом, здесь снова вскрывается картина кругового взаимодействия, очень напоминающая ту, которая была обрисована выше, при анализе взаимоотношений между мышечным напряжением и движением, только развертывающаяся в другом плане, уже не чисто биомеханически, а через посредство центральной нервной системы. И этот случай взаимодействия мог бы быть теоретически представлен в форме дифференциального уравнения, хотя мы пока еще далеки от возможности реально построить его.

Рефлекторное кольцо, представляющее собой фундаментальную форму протекания двигательного нервного процесса, может быть с наибольшей степенью наглядности изображено в виде такого схематического четырехугольника:



Итак, и это очень важно с самого начала подчеркнуть и отметить, координация есть не какая-то особая точность или тонкость *эффекторных* нервных импульсов, а особая группа физиологических механизмов, создающих непрерывное *организованное циклическое взаимодействие между рецепторным и эффекторным процессом.* Никакой тончайший анализ не мог бы найти в эффекторном импульсе признаков или элементов "координации": их там нет. Координация, подготовляет ли она двигательную периферию к принятию эффекторного импульса или оформляет и соразмеряет самый импульс соответственно конкретному учету периферической ситуации, все равно лежит вне эффекторного импульса, в известном смысле — над ним.

* * *

Подведем основные итоги. Два решающих обстоятельства: 1) факт избытка *кинематических* степеней свободы, зависящих от строения сочленений, и 2) факт упругой мышечной связи между звеньями подвижных цепей, из которого проистекает неопределенная, неоднозначная зависимость между мышечной активностью и движением и который можно рассматривать как эквивалент еще некоторого числа *динамических* степеней свободы, — оба в совокупности делают органы движения *принципиально неуправляемыми системами* для каких бы то ни было качеств или сколь угодно тонких форм *чисто эффекторных* следований импульсов. Силы, обусловливающие фактическое движение каждого звена кинематической цепи, могут быть представлены каждая в виде геометрической суммы трех составляющих: 1) силы, исходящей от активного двигателя системы, — в данном случае от мышцы; по большей части силы этого рода являются внутренними силами; 2) внешних сил (тяжести, сопротивления внешней среды и т.п.) и 3) реактивных сил, количество и разнообразие которых, как уже было сказано, бурно возрастает с увеличением числа степеней свободы. Сензорная коррекция эффекторных импульсов, управляющих мышечной активностью, ведется так, чтобы равнодействующие *всех* упомянутых участвующих в движении сил, и внутренних, и внешних, и реактивных, вели движущуюся систему из ее исходного состояния в требуемом направлении, с требуемой силой и скоростью. В каждую такую равнодействующую, состоящую из трех динамических "паев" (активного, внешнего, реактивного), эффекторика вносит только один пай. Понятно, что структура этого одного пая из трех тем сильнее отличается от их общей результирующей суммы, чем больше в движении участвуют реактивные и внешние силы и чем экономичнее оно построено в отношении расходования активной мышечной работы. Это-то несоответствие между первой категорией сил — единственной прямо подвластной управлению — и результирующей кинетикой цепи и делает столь трудно управляемыми кинематические цепи со многими кинематическими и динамическими степенями свободы. Сюда прибавляется еще и то, что даже при небольших допусках и конструктивных нестрогостях, всегда возможных и у очень точно выполненных машин, а в живых кинематических цепях подчас весьма значительных, резко возрастает неодинаковость и непостоянство реактивных сил от раза к разу при повторных циклах одинаковых движений. Это обстоятельство делает реактивные силовые наслоения помимо их сложности еще и практически не предусмотримыми.

С другой стороны, неоспоримо (в гл. VIII будет подробно проанализировано на фактическом материале), что движение тем экономичнее, а следовательно, и рациональнее, чем в большей мере организм использует для его выполнения реактивные и внешние силы и чем меньше ему приходится привносить активных мышечных добавок. Но, очевидно, чем меньше эти добавки, тем меньше сходства остается между формой их протекания и той суммарной силовой равнодействующей сил всех трех видов, которая фактически выполняет реализуемое организмом движение. В наиболее совершенных по своей биодинамике движениях (динамически устойчивых, см. гл. IV и VIII) это явление достигает максимума, и сходство между мышечной формулой и движением остается не более значительным, чем, например, сходство между работой вспомогательного судового дизеля, включаемого время от времени, и курсом парусного судна, идущего под сильным попутным ветром. Всем хорошо знакомо искусство парящего полета морских птиц, способных пролетать большие расстояния, почти не работая крыльями, за счет одних только мастерски используемых ими колебаний воздушных течений, — искусство, которому все лучше подражает и человек в своем планерном спорте, но гораздо менее известно то, что и в обыденной моторике ходьбы, бега, трудовых приемов и т.д. соотношения между кривыми мышечной активности и кривыми результирующих усилий и движений мало чем отличаются в принципе от упомянутой кинетики альбатроса.

По этим причинам для перевода с языка пространственно-кинематических представлений, на котором психологически строится первичный проект движения, на язык фактической мышечной динамики требуется довольно сложная *перешифровка*, которая вдобавок тем сложнее и прихотливее, чем совершеннее выполняемое движение, т.е. чем лучше выработан двигательный навык. Если к этому прибавить еще, что по причине указанного выше отсутствия однозначности эти шифры к тому же меняются от раза к разу при повторных выполнениях движения, то у нас останется очень немного от тех старых представлений о выработке нового навыка как условной связи, согласно которым такая выработка совершается путем "проторения" в результате серии точно одинаковых повторений. Для дальнейшего следует отметить еще, что в сложных двигательных актах, реализуемых высшими кортикальными системами, сплошь и рядом требуется несколько наложенных одна на другую последовательно совершаемых перешифровок разного механизма и разного смыслового содержания.

Приведем пример, являющийся выразительной иллюстрацией к сказанному.

Для интегрирования дифференциального уравнения второго порядка, т.е. для нахождения одного из бесчисленных возможных для него конкретных решений, необходимо подставить в общее решение по меньшей мере два начальных условия, не зависящих от самого уравнения. В случае уравнения, определяющего движение кинетической системы с упругими связями, такими начальными условиями могут послужить, например, исходные положения и начальные скорости элементов цепи. Это и есть как раз данные того порядка явлений, которые сигнализируются в центральную нервную систему проприоцептивными органами по ходу осуществления сензорных коррекций. Очевидно, если по каким-либо причинам проприоцептивная афферентация (в широком

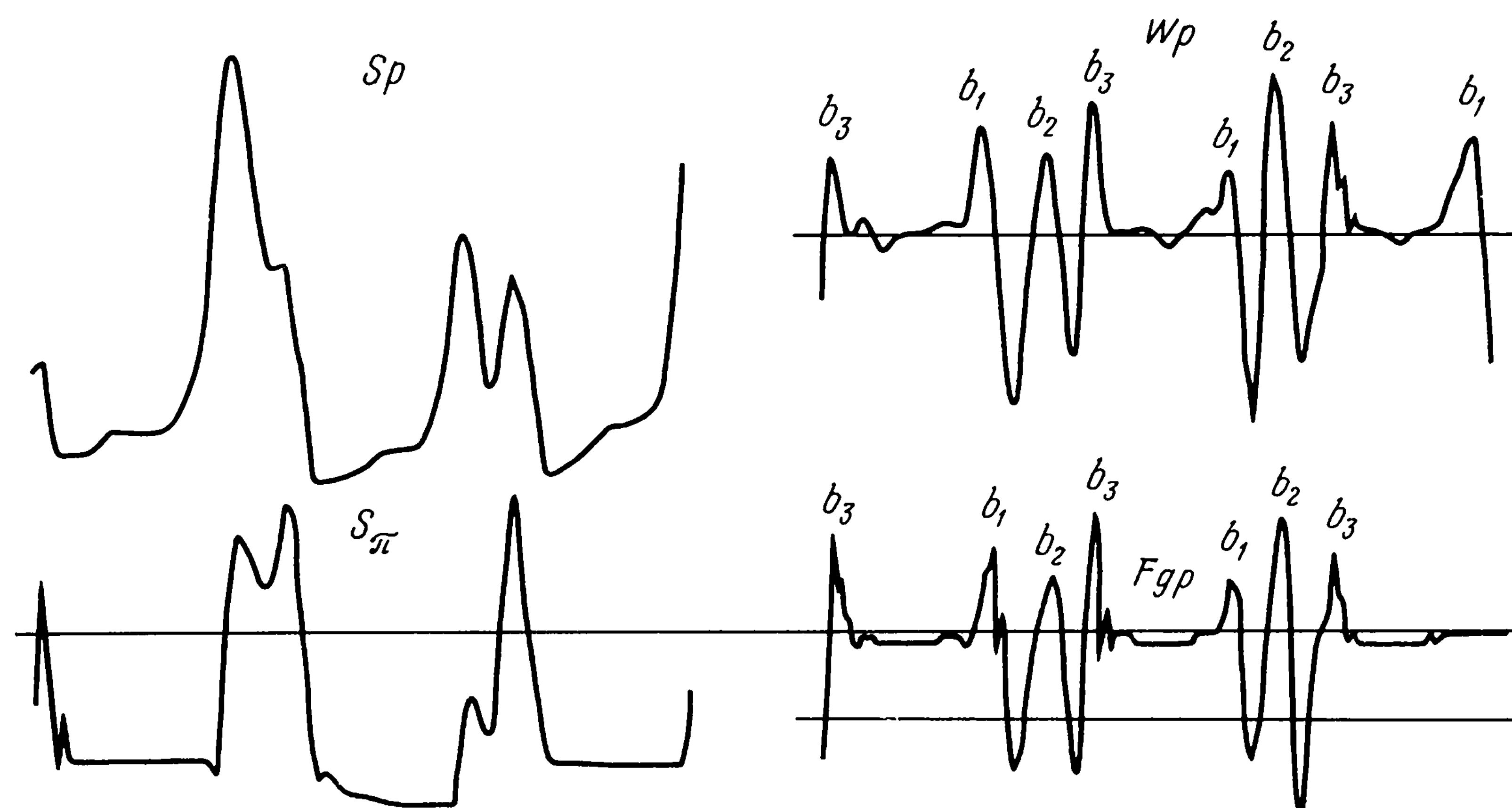


Рис. 11. Слева — кривые перемещений (по вертикальной слагающей) пятки (p) и носка (π) в двух последовательных шагах *табетика.* Справа — кривые вертикальных ускорений пятки (наверху) и вертикальных усилий в центре тяжести стопы (внизу) в тех же самых двух шагах. Рисунок ясно показывает, что в основе двух резко различных между собой движений шагов у табетика могут лежать очень сходные между собой циклы ускорений и усилий (работа В. Фарфеля и автора, ВИЭМ, 1935 г.)

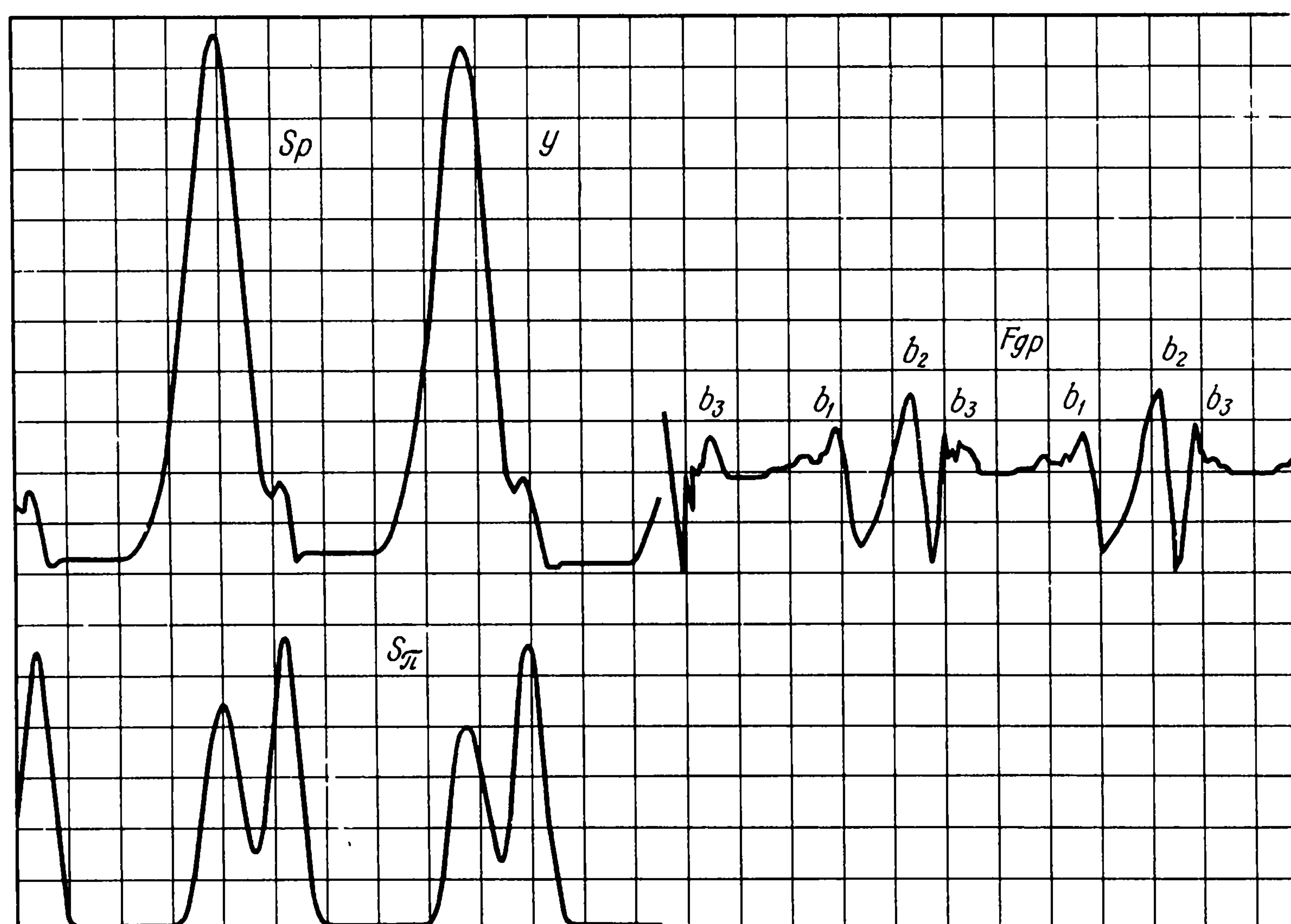


Рис. 12. Слева — кривые перемещений (по вертикальной слагающей) пятки (p) и носка (π) в двух последовательных шагах *нормального субъекта.* Справа — кривая вертикальных усилий в центре тяжести стопы в тех же двух шагах. Перемещения идеально одинаковы в обоих шагах; вариативность усилий от шага к шагу немногим отличается от таковой в предыдущем рисунке (работа автора, ВИЭМ, 1935 г.)

смысле) выключена, то центральная нервная система не будет располагать ни указанными, ни другими эквивалентными им данными для выбора того или другого из возможных решений дифференциального уравнения. Отсюда вместо приспособительно-видоизменяемых следований импульсов, которые посылаются ею в норме и дают при циклических движениях чеканно одинаковые циклы, центральная нервная система будет раз за разом посылать на периферию стереотипные, одинаковые цепочки импульсов, не ведая, с какими ситуациями они там столкнутся. В результате, разумеется, получится картина, как раз обратная только что обрисованной для нормы: одинаковые серии импульсов приведут к резко непохожим один на другой циклам движения.

Так, действительно, и происходит при характернейшей болезненной форме системного выключения проводящих путей проприоцепторики в спинном мозгу — при tabes dorsalis. Приведенные рис. 11 и 12 подтверждают сказанное сопоставлением двух групп кривых. На рис. 11 (справа) помещены кривые вертикальных ускорений и динамических *усилий* в центре тяжести стопы тяжелого табетика и рядом (слева) две кривые результирующих перемещений переднего и заднего концов стопы этого же больного в двух соответствующих последовательных шагах. На рис. 12 помещены для сравнения такие же кривые для случая здоровой, нормальной ходьбы. Из рисунков ясно видно, что вариативность *кривой усилий* от шага к шагу мало чем отличается у табетика от того, что имеет место и в норме. Но в то время как *кривые движений* в здорового субъекта совершенно неотличимы в последовательных шагах, у больного они дают резко выраженную разницу циклов. За непринятие в расчет данных об имеющих место в очередном шаге начальных условий и за стереотипную одинаковость импульсовых серий, без адекватных перешифровок, организм расплачивается в лучшем случае резкой деавтоматизацией походки, а в худшем — полной потерей устойчивости.

Итак, в наиболее точном определении, *координация движений есть преодоление избыточных степеней свободы движущегося органа, иными словами, превращение последнего в управляемую систему.* Указанная в определении задача решается по принципу *сензорных коррекций,* осуществляемых совместно самыми различными системами афферентации и протекающих по основной структурной формуле *рефлекторного кольца.*

Состав тех афферентационных ансамблей, которые участвуют в координировании данного движения, в осуществлении требуемых коррекций и в обеспечении адекватных перешифровок для эффекторных импульсов, а также вся совокупность системных взаимоотношений между ними обозначаются нами как *построение данного движения.*

Необходимо подчеркнуть, что хотя все имеющиеся в распоряжении организма виды рецепторных аппаратов принимают участие в осуществлении сензорных коррекций и выполнении требуемых для этого перешифровок в разных планах и различных уровнях, однако ни в одном случае (кроме, может быть, простейших прарефлексов) эти акты корригирования не реализуются сырыми рецепторными сигналами от отдельных, изолированных по признаку качества афферентационных систем. Наоборот, сензорные коррекции всегда ведутся уже *целыми синтезами,* все более усложняющимися от низа кверху и строящимися из подвергшихся глубокой интеграционной переработке сензорных

сигналов очень разнообразных качеств. Эти синтезы, или *сенсорные поля,* и определяют собой то, что мы обозначаем как *уровни построения* тех или иных движений. *Каждая двигательная задача находит себе в зависимости от своего содержания и смысловой структуры тот или иной уровень,* иначе говоря, *тот или иной сенсорный синтез, который наиболее адекватен по качеству и составу образующих его афферентаций и по принципу их синтетического объединения требующемуся решению этой задачи.* Этот уровень и определяется как *ведущий уровень* для данного движения в отношении осуществления важнейших, решающих сенсорных коррекций и выполнения требуемых для этого перешифровок.

Лучше всего понятие о различных *ведущих уровнях построения* уяснится из примерного сопоставления ряда движений, сходных по своему внешнему оформлению, но резко различных между собой по уровневому составу.

Человек может совершить, положим, *круговое движение рукой* в ряде чрезвычайно не сходных между собой ситуаций. Например: А. При очень быстром фортепианном "вибрато", т.е. при повторении одной и той же ноты или октавы с частотой 6—8 раз в секунду нередко точки кисти и предплечья движутся у выдающихся виртуозов по небольшим кружочкам (или овалам). В. Можно описать рукой круг в воздухе в порядке выполнения гимнастического упражнения или хореографического движения. *С.* Человек может обвести карандашом нарисованный или вытисненный на бумаге круг (*C1*) или же срисовать круг (*С2*), который он видит перед собой. *D.* Он может совершить круговое движение рукой, делая стежок иглы или распутывая узел. *Е.* Доказывая геометрическую теорему, он может изобразить на доске круг, являющийся составной частью чертежа, применяемого им для доказательства. Все это будут круги или их более или менее близкие подобия, но тем не менее во всех перечисленных примерах их центрально-нервные корни, их (как будет показано ниже) *уровни построения* будут существенно разными. Во всех упомянутых вариантах мы встретимся и с различиями в механике движения, в его внешней, пространственно-динамической картине и, что еще более важно, с глубокими различиями координационных механизмов, определяющих эти движения.

Прежде всего нельзя не заметить, что все эти круговые движения связаны всякий раз *с другими афферентациями.* Кружки по типу примера *А* (доказательства будут приведены в гл. III—VI) получаются непроизвольно, в порядке неосознаваемого *проприоцептивного рефлекса.* Круг танцевально-гимнастический (*В*) точно так же обводится главным образом под знаком *проприоцептивной коррекции,* но уже не элементарно-рефлекторной, а в значительной части осознаваемой и обнаруживающей преобладание уже не мышечно-силовых, а суставно-пространственных компонент проприоафферентации. Круг обрисовываемый (*C1*) или срисовываемый (*С2*) ведется с главенствующим контролем *зрения* — в первом случае более непосредственным и примитивным, во втором — осуществляемым очень сложной синтетической афферентационной системой "зрительно-пространственного поля". В случае *D* ведущей афферентационной системой является представление о *предмете,* апперцепция предмета, осмысление его формы и значения, дающее активный результат в виде *действия* или серии действий, направленных к целесообразному манипулированию с этим пред-

метом. Наконец, в случае *Е* — круга, изображаемого лектором математики на доске, ведущим моментом является не столько воспроизведение геометрической формы круга (как было бы, если на кафедре вместо учителя математики находился учитель рисования), сколько полуусловное изображение соотношений рисуемой окружности с другими элементами математического чертежа. Искажение правильной формы круга не нарушит замысла лектора и не пробудит в его моторике никаких коррекционных импульсов, которые, наоборот, немедленно возникли бы в этой же ситуации у учителя рисования.

Все перечисленные движения (от *А* до *Е*) будут по их мышечно-суставным схемам кругами, но их реализация, их *построение,* проводимое центральной нервной системой, будет для каждой из поименованных разновидностей протекать на другом уровне.

Очень характерный пример практического использования этих данных для восстановительной терапии движений дает проведенная в течение настоящей войны серия исследований А.Н. Леонтьева и его сотрудников (ВИЭМ — Институт психологии). По их наблюдениям, даже в случае грубого периферического нарушения движений вследствие анкилоза или тяжелой контрактуры амплитуда возможных произвольных движений пораженной руки способна изменяться в очень широких пределах за счет изменений одной только формулировки двигательного задания, т.е. переключения исполняемого движения на тот или другой уровень. Например, на приказание "поднять руку как можно выше" больной поднимает ее до определенного штриха на (не видимой ему) измерительной рейке. На следующее затем приказание тронуть пальцем высоко расположенную видимую точку на листе бумаги больной поднимает руку уже на 10—12 см выше; если же задание будет выражено в виде: "сними с крючка повешенный на нем предмет", то это обеспечит увеличение амплитуды подъема еще на десяток сантиметров. Контрольная проба подъема по беспредметному заданию (как в начале опыта) показывает, что завоеванные уже десятки сантиметров сохраняют силу только по отношению к вызвавшим их формулировкам. Легко заметить, что три последовательных задания Леонтьева относятся соответственно к вышеназванным уровням *B*, *C* и *D*. Пример показывает, как различны между собой иннервационные и мышечные формулы, производящие совершенно однотипные на вид движения, но в разных уровнях.

Характеристика отдельных уровней построения движений, насколько их удается расчленить к настоящему времени, приводится в гл. III—VI; обрисовка динамики их возникновения и развития двигательных координаций в фило- и онтогенезе — в гл. VII и VIII. Здесь необходимо сделать еще только одно примечание.

Ни одно движение (может быть, за редчайшими исключениями) не обслуживается по всем его координационным деталям одним только ведущим уровнем построения. Мы увидим ниже, что в начале формирования нового индивидуального двигательного навыка действительно почти все коррекции суррогатно ведутся ведущим уровнем-инициатором, но вскоре положение изменяется. Каждая из технических сторон и деталей выполняемого сложного движения рано или поздно находит для себя среди *нижележащих* уровней такой, афферентации которого наиболее адекватны этой детали по качествам обеспе-

чиваемых ими сензорных коррекций. Таким образом, постепенно, в результате ряда последовательных переключений и скачков образуется сложная многоуровневая постройка, возглавляемая *ведущим уровнем,* адекватным *смысловой структуре* двигательного акта и реализующим только самые основные, решающие в смысловом отношении коррекции. Под его дирижированием в выполнении движения участвует, далее, ряд *фоновых уровней,* которые обслуживают фоновые или технические компоненты движения: тонус, иннервацию и денервацию, реципрокное торможение, сложные синергии и т.п. *Процесс переключения технических компонент движения в низовые, фоновые уровни есть то, что называется обычно автоматизацией движения. Во всяком движении,* какова бы ни была его абсолютная уровневая высота, *осознается один только его ведущий уровень* и только те из коррекций, которые ведутся непосредственно на нем самом. Так, например, если очередной двигательный акт есть завязывание узла, текущее на уровне *D*, то его технические компоненты из уровня пространственного поля *C*, как правило, не достигают порога сознания. Если же следующее за ним движение — потягивание или улыбка, протекающие на уровне *B*, то этот уровень осознается, хотя он абсолютно и ниже, чем *C*. Конечно, из этого не следует, чтобы степень сознательности была одинаковой у каждого ведущего уровня; наоборот, *и степень осознаваемости, и степень произвольности растет с переходом по уровням снизу вверх.*

Переключение технической компоненты из ведущего уровня в тот или другой из низовых фоновых приводит, согласно сказанному, к уходу этой компоненты из поля сознания, а это явление как раз и заслужило название автоматизации. Вполне понятна выгодность автоматизации, ведущей к разгрузке сознания от побочного, технического материала и этим создающей для него возможность сосредоточиться на самых существенных и ответственных сторонах движения, к тому же, как правило, изобилующих непредвиденностями всякого рода, требующими быстрых и находчивых переключений. Противоположный описанному процесс временного или полного разрушения автоматизации носит название *деавтоматизации.* Оба эти процесса подробнее освещены в гл. VIII и IX.

Закончим настоящую главу *описью уровней построения,* характеризуемых во второй части этой книги. *A* — уровень палеокинетических регуляций, он же руброспинальный уровень центральной нервной системы. *B* — уровень синергий, он же таламо-паллидарный уровень. *C* — уровень пространственного поля, он же пирамидно-стриальный уровень. Распадается на два подуровня: *C1* — стриальный, принадлежащий к экстрапирамидной системе, и *C2* — пирамидный, относящийся к группе кортикальных уровней. *D* — уровень действий (предметных действий, смысловых цепей и т.п.), он же теменно-премоторный уровень. *E* — группа высших кортикальных уровней символических координаций (письма, речи и т.п.).

В характеристиках уровней построения будем придерживаться по возможности единообразного плана: локализация и субстраты; ведущая афферентация; характеристические свойства движений; самостоятельные движения, управляемые данным уровнем; фоновая роль уровня в двигательных актах вышележащих уровней; дисфункции и патологические синдромы.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ
УРОВНИ ПОСТРОЕНИЯ ДВИЖЕНИЙ

Глава третья
СУБКОРТИКАЛЬНЫЕ УРОВНИ ПОСТРОЕНИЯ

Рубро-спинальный уровень палеокинетических регуляций *A*

Обращаемся к поочередной психо-физиологической характеристике наметившихся к настоящему времени уровней построения движений от наинизших до наиболее новых по генезу и сложных по структуре. Ввиду новизны вопроса в последующем изложении невозможно избегнуть ряда не вполне еще ясных, а быть может, и спорных пунктов.

Характеристике самого низшего из уровней, обладающего у человека функциональной самостоятельностью, — *рубро-спинального уровня* палеокинетических регуляций, необходимо предпослать некоторые данные об особенностях микрофизиологии нервно-мышечного процесса, играющих в этом уровне определяющую роль.

Древнейшими двигательными аппаратами, сохранившимися у человека со времени наиболее примитивных многоклеточных организмов, являются подвижные системы внутренностей, оснащенные гладкой мускулатурой и иннервируемые от вегетативной нервной системы. Вся совокупность нервных и мышечных элементов этой группы заслуживает названия *палеокинетической* системы в противоположность *неокинетической* системе соматического костно-суставно-мышечного аппарата, связанного с сетью периферических миэлинизированных нервных аксонов и с центральной нервной системой.

Движения *гладких мышц* палеокинетической системы медленны, диффузны; это даже не столько движения, сколько неторопливые смены различных стационарных значений длины мышечных клеток, способной оставаться неопределенно долго на каждом из них. Мышцы палеокинетической системы могут при известных условиях развивать значительные усилия, но лишь медленно, на низкой мощности (например, запирательное усилие раковинных створок у моллюсков).

Мышцы палеокинетической системы склонны к образованию сплошных сетей (синцитиев), нервы — столь же сплошных сплетений с обильными анастомозами (невропилей). В прямой связи с этим палеокинетический нервный процесс очень склонен к иррадиациям. Среди сложных синергий палеокинетического аппарата большое место занимают статокинетические (формоприспособительные) процессы плавных изменений форм и очертаний органа. Правда,

этому очень способствуют бесскелетные устройства всей сомы у тех животных, у которых палеосистема является единственной, и внутренних, опять-таки бесскелетных, органов у позвоночных.

Постепенно назревавшая в филогенезе потребность в быстрых и мощных движениях привела на одной из его ступеней к возникновению и строго параллельному развитию: а) жестких костно-суставных кинематических цепей скелета и б) поперечнополосатой мускулатуры с ее нервным оборудованием, вместе образовавших то, что мы обозначаем термином "неокинетическая система". Пассивная часть (а) этой системы является необходимым спутником активной части (б), так как полномерное использование скорости и мощности поперечнополосатой мышцы требует жестких рычажных устройств для передачи больших и быстро изменяющихся усилий, развиваемых такой мышцей, и для сопротивления подчас огромным инерционным силам, возникающим при ее работе (рис. 13)[1].

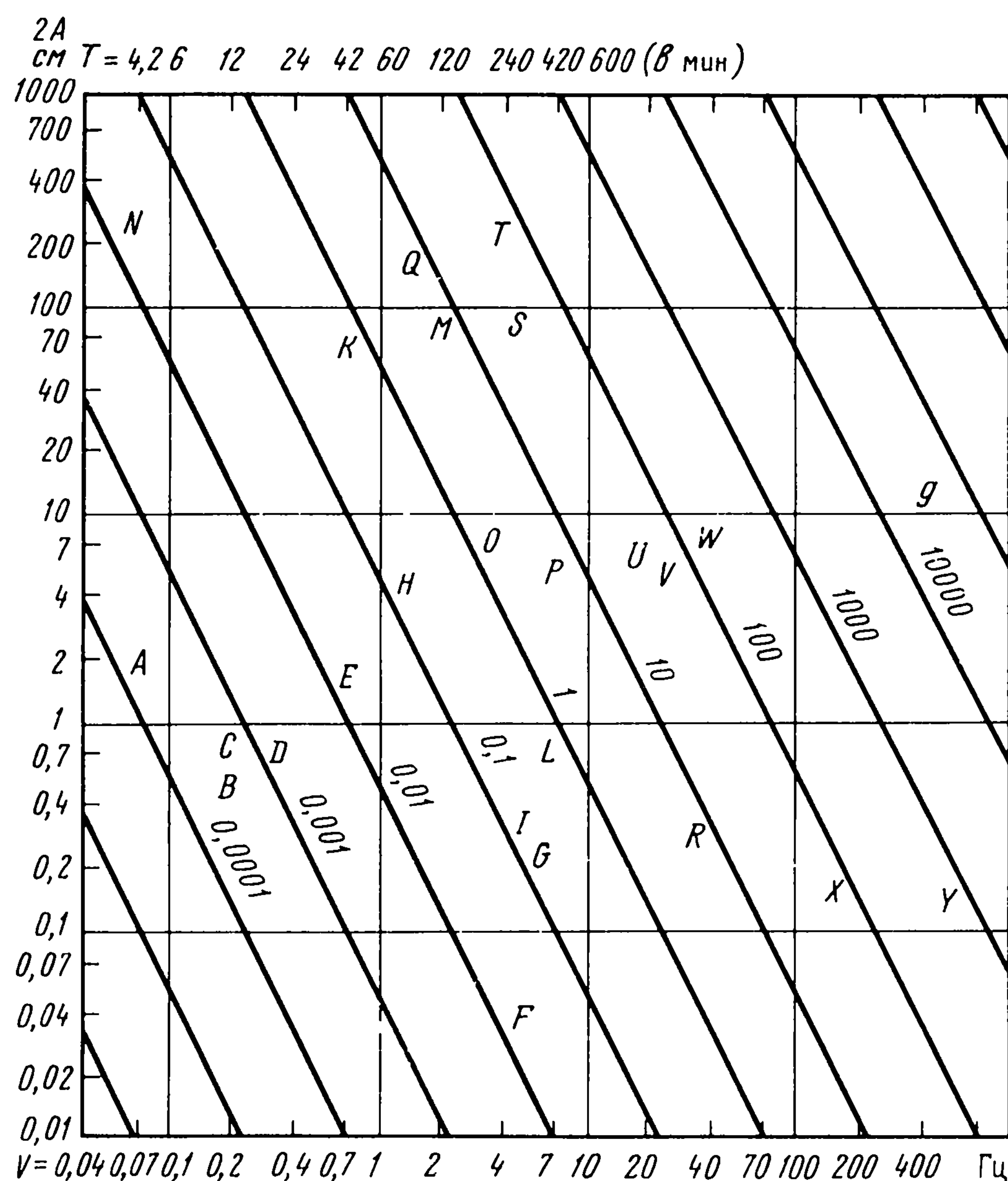
Неокинетический процесс как в нервном, так и в поперечнополосатом мышечном элементе имеет характер быстрой и краткой вспышки, длящейся у теплокровных немногие миллисекунды и связанной со столь же быстрым развитием на волокне поверхностной электроотрицательности (spike — спайк). Эта вспышка, вполне стандартная по характеру протекания и сопутствуемая развитием преходящей краткосрочной невозбудимости (абсолютной рефрактерности), распространяется вместе со сдвигом потенциала вдоль волокна с высокой скоростью, являющейся функцией калибра нервного или мышечного волокна (чем волокно толще, тем скорость выше)[2] и представляющей собой так называемую *фазовую скорость*. Иными словами, это не есть скорость действительного перемещения чего-либо — материи или энергии, но лишь *скорость последовательного возникновения* местных, стационарных процессов, провоцирующих друг друга от точки к точке. Из фазового характера распространения процесса прямо следует его *бездекрементность*. В неокинетической системе нацело господствует *закон изолированного проведения* фазовой волны возбуждения.

Вслед за возникновением вспышки возбуждения в точке волокна развертываются две параллельно текущие последовательности следовых процессов, доказанным образом представляющих собой две стороны одного и того же физиологического ряда: 1) смена следовых биоэлектрических *потенциалов* и 2) ряд сдвигов уровней *возбудимости* и всех амплитудных и скоростных показателей *протекания возбуждения* (рис. 14). Вслед за вспышкой возбуждения в период опадания spike начинается постепенное восстановление возбудимости (отно-

---

[1] У насекомых ускорения, испытываемые их крыльями, могут достигать значений, *в сотни раз* превосходящих ускорение силы тяжести.

[2] Функциями калибра волокна неокинетической системы как нервного, так и мышечного являются, помимо скорости проведения, и все остальные параметры возбудимости и самого возбуждения. Как нервные, так и поперечнополосатые мышечные волокна образуют у высших млекопитающих целые наборы (сортаменты), образующие непрерывные градации калибров и параметров и лишь с известной искусственностью подразделяемые на группы (типы А, В и С Gasser и белые и красные мышечные волокна Krause). Несомненно, эти сортаменты являются биологическим вспомогательным средством для компенсации однообразия и негибкости неокинетического возбудительного процесса, (см. ниже).



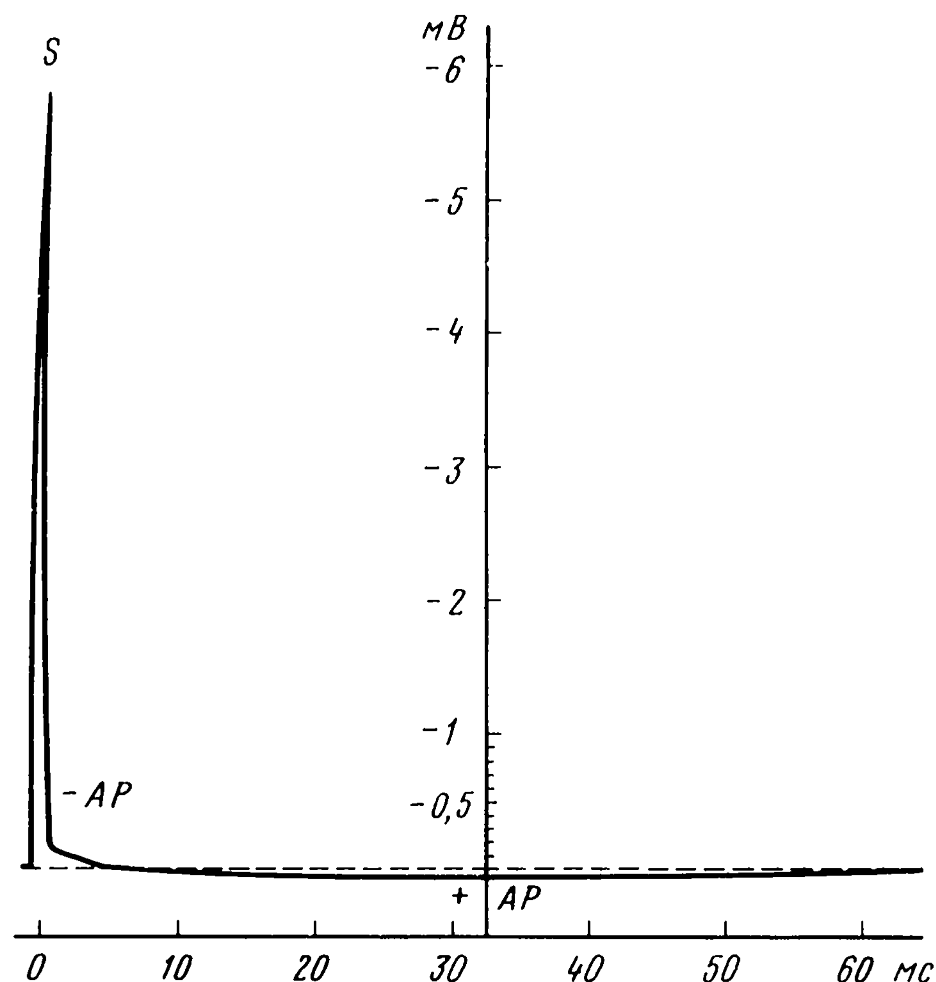


Рис. 13. Амплитуды ускорений при различных синусоидальных колебательных движениях у человека и животных

По абсциссам отложены (в логарифмическом масштабе): внизу — частоты *V*, Гц, наверху — темпы *T* в минуту; по ординатам: размахи (удвоенные амплитуды) движений 2*A*, см. Наклонные линии соответствуют различным амплитудам ускорений в единицах ускорения силы тяжести, от 0,0001 до 10 000*g*. Буквы от *A* до *Y* помещены в пунктах сетки, соответствующих различным колебательным движениям; наклонные линии, близ которых они располагаются, характеризуют соответствующие амплитуды ускорений

A — ритмические сокращения гладкой мускулатуры матки; *B* — движения дождевого червя; *C* — перистальтика кишечника; *D* – письмо младшего школьника; *E* — движения гусеницы-пяденицы; *F* – мерцательный эпителий; *G* – движение скорописи; *H* — сердце человека; *I* – сердце мыши; *K* – движение кисти с молотком при рубке зубилом; *L* – тремор при паркинсонизме; *M* — движения центра тяжести всей ноги при ходьбе; *N* – движения "ног"-щупальцев спрута; *O* — движения стоп при антраша; *P* – быстрейшее vibrato на фортепиано; *Q* – движения стоп при ходьбе; *R* – движения ног мухи при ходьбе; *S* – движения центра тяжести всей ноги при беге; *T* — движения стопы при беге; *U* – крылья воробья при полете; *V* – движения стопы мышцы при беге; *W* – крыло большой стрекозы при полете; *X* – то же, крыло мухи; *Y* – то же, крыло москита

Рис. 14. Полусхема изменений биоэлектрических потенциалов возбудимого элемента при разряде неокинетического возбуждения

Масштабы соблюдены правильно. Потенциалы указаны в милливольтах, время — в миллисекундах

сительная рефрактерность). Спустя несколько миллисекунд от начала вспышки возбуждения (эти длительности сильно колеблются у разных волокон в зависимости от их калибров и связанных с ними общих скоростных характеристик) наступает фаза следового минус-потенциала, во многие десятки раз более низкого по амплитуде по сравнению со спайком. Эта фаза точно совпадает своим началом и концом с супернормальной фазой повышенной возбуди-

мости. По ее миновании параллельно же развиваются в 10—20 раз более длительная и во столько же раз более слабая по амплитуде фаза следового плюс-потенциала и фаза понижения возбудимости — субнормальная. У разных типов волокон как длительности, так и качественные тонкости этой смены фаз несколько вариируют, но во всех случаях сохраняется неукоснительное соответствие между знаком и временными границами фазы по потенциалу и теми же сторонами фазы изменений физиологических характеристик.

Так детально описать весь ход смены явлений, сопровождающих вспышку неокинетического возбуждения, возможно потому, что этот ход *абсолютно стандартен* для каждого данного неокинетического элемента, почти не варьируя и между разными элементами. Инвентарь явлений и ресурсов *неокинетического возбуждения*, способного к скоростному фазовому распространению и к вызыванию физического сокращения поперечнополосатой мышцы, *полностью исчерпывается* отрывистым спайком с его всегда одинаково построенным следовым хвостом.

Вдобавок к этому при данном физиологическом состоянии точки неокинетического элемента никакие изменения качества или силы возбуждающего воздействия не в состоянии ровно ничего изменить ни в количественной, ни тем более в качественной картине описанных явлений. Этот последний факт известен под именем закона "все или ничего". Он означает, что неокинетическая возбудимость обладает *альтернативными свойствами*: возбуждение либо наступает, либо не наступает, без количественной зависимости от раздражения. Таким образом, этот закон необходимо предполагает наличие острых и четких *порогов возбудимости*, действительно присущих всем сторонам неокинетического процесса.

В анизотропных дисках *поперечнополосатого мышечного волокна* вспышке возбуждения сопутствует столь же кратковременный *сдвиг* всех механических показателей: длины покоя, модуля упругости и коэффициента вязкости, в сторону укорочения первой и увеличения двух последних[1], после чего все они почти мгновенным скачком возвращаются к своему исходному состоянию. Ни нервный, ни мышечный элемент неокинетической системы ни по биоэлектрическим показателям возбуждения, ни по механическим показателям мышцы не может пробыть в деятельном состоянии дольше примерно десятка своих хронаксий. Таким образом, *деятельное состояние неоэлемента есть резко неустойчивое состояние,* в то время как покой такого элемента является устойчивым состоянием, способным длиться неопределенно долго. Отметим еще, что деятельное состояние неоэлемента всегда сопровождается *электроотрицательной* вспышкой, никогда не обнаруживая чего-либо вроде "спайков-позитронов".

Механические явления в поперечнополосатой мышце в результате вспышки возбуждения сложны главным образом вследствие целого ряда привходящих явлений как механического, так и структурного порядка. В момент возбуждения в анизотропных дисках мышечного волокна почти мгновенно возникают огромные сократительные напряжения. Эти напряжения перехватываются растягивающимися за их счет упругими пассивными изотропными дисками, играющими роль буферов-аккумуляторов упругой энергии и значительно более медленно и

---

[1] Относительно направления изменения модуля упругости во время вспышки возбуждения еще не существует полного единогласия.

плавно вновь укорачивающимися, отдавая эту энергию через сухожилия и костные рычаги во внешний мир. Вспышка возбуждения, возникшая на волокне первоначально в области нервно-мышечной пластинки, распространяется тем временем в виде фазовой волны в обе стороны вдоль волокна. Наряду с этой волной вдоль мышечного волокна распространяется еще упругая волна механического напряжения, имеющая скорость примерно того же порядка, но совершенно иной природы. Немгновенность распространения вдоль мышцы обеих этих волн (приводящая, например, к тому, что при физиологической частоте тетануса около 100 Гц на протяжении длинной мышцы, вроде m. sartorius человека, длина как упругой, так и экситарной волны укладывается 4—5 раз) в сочетании еще с неодновременностью вовлечения в возбудительный процесс всех мионов данной мышцы и с упомянутой выше буферной работой изотропных дисков приводит к большому смягчению и слиянию грубых и молниеносных контрактильных взрывов, превращая их серии в хорошо известную всем плавную и тонко дозированную работу скелетных мышц. Однако наибольшую роль в регуляции однообразных неокинетических вспышек играет другой процесс, который будет освещен несколько ниже.

Палеокинетический процесс в безмякотном нервном волокне и гладкой мышечной клетке почти по всем признакам резко, до полной противоположности, отличается от только что описанного неокинетического стереотипа. Прежде всего нервный процесс в палеокинетической системе не имеет характера стандартной вспышки; он не дает явления спайка с его высоким минус-потенциалом и сопутствующей рефрактерностью. Вместо этого он характеризуется медленными и длительными сдвигами потенциала с самыми разнообразными очертаниями кривых и с возможностью отклонений как в сторону минуса, так и в сторону плюса. Вместо характерной для неокинетического процесса антитезы "возбуждение" (неустойчивое) — "покой" (устойчивый) палеопроцесс протекает под знаком антитезы "состояние возбуждения — состояние угнетения или торможения". Первое из них сопровождается сдвигом потенциала в сторону минуса, второе — в сторону плюса, и оба обладают одинаковой степенью устойчивости. Какого-либо особого уровня нуля или покоя, который как-либо качественно отличался бы от всех прочих, палеокинетический процесс не знает.

Далее палеопроцессу чужды ограничения, создаваемые законом "все или ничего". Обнаруживаемые им смещения потенциала и изменения длины и напряжения гладких мышечных волокон протекают с самыми разнообразными градациями силы и деятельности. Не подчиняясь закону "все или ничего", палеокинетический процесс чужд и его необходимому спутнику — явлению стойких порогов: мера возбудимости палеокинетического элемента может колебаться в гораздо более широких пределах, нежели у неоэлемента, но при этом даже на самые слабые раздражения палеоэлемент откликается какими-то, хотя бы и слабыми, изменениями степени своей возбужденности. Для возбудимости *неокинетического* элемента характеристичны те *минимальные константы раздражения*, ниже которых он уже перестает отвечать; для возбудимости же *палеоэлемента* характеристичными являются те *коэффициенты пропорциональности*, которые определяют зависимость между изменениями силы раздражения и изменениями результирующего ответа.

Не обнаруживая взрывообразных вспышек возбуждения на гомогенном фоне

покоя, палеокинетический процесс не дает и явления фазовой волны: его протяжные сдвиги растекаются по волокну медленно и со значительным декрементом. Наконец, в противоположность откликанию на надпороговые раздражения "ударом на удар", характерному для типа возбудимости неоэлемента, палеокинетические элементы возбудимы не сразу: они требуют повторной и настойчивой раскачки (так называемый итеративный тип возбудимости, Lapicque), но зато после прекращения серии возбуждающих воздействий часто обнаруживают оборотную сторону той же инерции — дают длящийся еще некоторое время остаточный разряд.

Самый механизм распространения, а особенно передачи нервного процесса с одного элемента на другой, резко различен у обеих описываемых систем: в неокинетическом аппарате если и не господствует, то, во всяком случае, занимает очень видное место биоэлектрический запальный процесс, в то время как в палеокинетической системе главенствует филогенетически древний гуморальный механизм передачи[1].

Предельное однообразие, негибкость и отрывистость неокинетического процесса, единственного, чем располагает для своих отправлений соматическая нервная система, были бы слишком дорогой платой за принесенные им преимущества быстроты

---

[1] В то время как синапсы палеокинетической системы не обнаруживают каких-либо резких функциональных различий от аксонов и мышечных клеток этой системы, *неокинетические синапсы* (мионевральные в меньшей, спинальные в очень высокой степени) наделены целым комплексом глубоких функциональных отличий от проводящих и контрактильных неокинетических элементов. По еще очень неясным причинам синапсы неокинетической системы представляют собой своего рода палеокинетические островки, в известном смысле анахронизм в новодвигательной системе, налагающие свой отпечаток на все проявления ее жизнедеятельности в целостном организме.

Спинальные синапсы изъяты из действия закона "все или ничего". Они обладают итеративностью, т.е. требуют либо длительной раскачки, либо конвергирующего воздействия на них со стороны многих афферентных невронов. Та же инерция сказывается и в свойственном им явлении остаточного разряда. В спинальных синапсах имеют место смены электротонических состояний с очень большой амплитудой изменений. Эти состояния могут обусловливаться в них как в результате импульсации со стороны стволовых ганглиев головного мозга, так и в результате суммации раздражений, получаемых с чувствительных или вставочных невронов. Эти электротонические состояния могут обладать как тем, так и другим знаком (это так называемое central excitatory state и central inhibitory state Sherrington), т.е. проявляться в повышении или угнетении их возбудимости и проводимости. Первый вид сдвига обозначается еще как "облегчение" (facilitation); второй — известен в случае центрального происхождения под названием субординационного торможения, сеченовского торможения и др.

Именно в синапсах всего яснее выражена роль, выпадающая в неокинетической системе на долю гуморальных механизмов передачи возбуждения. Весь процесс прохождения залпов возбуждения через спинальные синапсы неоспоримо совершается при существенном участии биоэлектрической слагающей: это отчетливее всего доказывается их способностью пропускать через себя цепочки спайков точным счетом. В то же время наличие гуморальной компоненты в процессе синаптической передачи возбуждения в настоящее время доказано неоспоримо, хотя и не достигнуто еще полного единодушия по вопросу о механизме совместного действия обоих факторов. Очень вероятно, что синаптическая задержка проведения возбуждения обусловливается именно превращением возбудительного процесса в области синапса из биоэлектрической фазовой волны в более сложное электрохимическое явление.

Таким образом, в итоге необходимо признать за спинальными синапсами неокинетической системы целый ряд важнейших черт палеокинетического характера, совершенно чуждых как нервному, так и мышечному волокну неокинетической системы.

и мощности, если бы не одна группа фактов фундаментального значения, вносящая настоятельно необходимый здесь корректив.

Прежде всего нужно констатировать, что перечень физиологических отправлений, доступных неокинетическому элементу, исчерпывается стандартной неокинетической вспышкой *только*, если ограничить круг рассматриваемых явлений теми, которые характеризуются скоростным распространением по типу фазовой волны. За пределами этого ограничительного условия существует целая широкая область явлений, присущих этим же элементам и обнаруженных позднее из-за их значительно более трудной наблюдаемости. Явления этой области, относясь, несомненно, также к категории возбудительных процессов, резко обособляются от неокинетического процесса целым рядом четких отличий. Несколько расширяя рамки употребительного в нервной физиологии термина, мы обозначим для начала эту область явлений как явления *альтерации*, а вызывающие их воздействия — как *альтерирующие агенты.*

Эти агенты удобно подразделяются на три группы: 1) электрическое поле подпороговой интенсивности, 2) другие адекватные возбудители неокинетического процесса при подпороговой дозировке и 3) ряд фармако-химических агентов, являющихся обычно адекватными возбудителями для палеокинетической системы, но неадекватных по отношению к неокинетическому возбуждению. В качестве типового представителя альтерирующих агентов лучше всего подходит первая группа. Действие их обнаруживается в нескольких закономерных рядах явлений.

Во-первых, они вызывают смещение всех *порогов*, характеризующих меру *возбудимости* элемента к неокинетическому процессу. Во-вторых, параллельно этому вызываются и смещения *всех* амплитудных и скоростных *характеристик протекания* самой неокинетической *вспышки возбуждения*: вольтажа спайка и следовых биоэлектрических явлений, длительности всех последовательных фаз стандартной цепочки возбуждения, скорости распространения фазовой волны и т.д. В-третьих, специально в мышечном волокне параллельно уже перечисленным смещениям возникают еще сдвиги *всех механических параметров*: и длины покоя, и модуля упругости, и коэффициента вязкости. Тем самым, следовательно, смещается и кривая зависимости между длиной мышечного элемента и его напряжением, характеристическая диаграмма длин напряжений (см. рис. 3).

Если альтерирующим агентом является экзогенное электрическое поле, то вся перечисленная совокупность смещений есть не что иное, как *пфлюгеровский электрон.* Все имеющиеся данные о проявлениях электротона на неокинетическом элементе согласно свидетельствуют о не знающем изъятий *правиле параллелизма* протекания всех перечислявшихся смещений. Нарастание положительного потенциала (*анэлектротона*) вызывает постепенно усиливающиеся смещения в сторону общего угнетения, способного прогрессировать вплоть до полного паралича возбудимости и жизнедеятельности. Нарастание электроотрицательности протекает двуфазно, как это было впервые установлено и изучено Н.Е. Введенским, назвавшим эту группу явлений *парабиозом.* Умеренный отрицательный потенциал (катэлектротон) сопровождается сдвигами в направлении снижения порогов, увеличения амплитудных и скоростных показателей возбуждения и смещениями мышечных параметров в сократительном направлении. Прогрессивное нарастание катэлектротона прозодит все указанные экзальтационные сдвиги через некоторый максимум, вслед за которым начинается их обратное развитие с

последующим переходом во все углубляющееся угнетение, способное, как и при анэлектротоне, дойти до полного паралича. Это катэлектротоническое или парабиотическое угнетение *вслед* за перевозбуждением представляет собой, скорее всего, угнетение *вследствие* перевозбуждения и, действительно, в ряде вариантов опытов Введенского производит впечатление оглушения нервно-мышечного субстрата чрезмерной для него возбудительной нагрузкой.

К настоящему времени можно считать твердо установленной справедливость правила параллелизма смещений по отношению ко всем без исключения видам альтерирующих агентов любой группы. Хотя одни и те же агенты бывают способны при различных дозировках и различных условиях опыта вызывать смещения то катэлектротонического, то анэлектротонического знака, однако неукоснительно во всех случаях тот или другой знак смещения оказывается охватывающим весь список смещаемых характеристик.

Особенно важно подчеркнуть, что, каковы бы ни были причины, обусловившие альтерационные смещения в неокинетическом элементе, эти смещения всегда сопровождаются возникновением в альтерированном пункте *эндогенного электрического поля* того или другого знака, т.е. смещениями биоэлектрического потенциала. Амплитуды этих смещений потенциала имеют тот же порядок величины (близ 1 млВ и ниже), что и следовые потенциалы неокинетической вспышки и "медленные потенциалы" палеокинетического нервного процесса, т.е. они намного ниже смещений потенциала при неокинетическом спайке. Знак эндогенного поля, возникающего в связи с альтерацией, т.е. появление кат- или анэлектротонического смещения, строго согласуется с экзальтационным или тормозным характером альтерационных изменений, таким образом, все виды альтераций, т.е. все протекающие по правилу параллелизма смещения показателей возбудимости и возбуждения неокинетического элемента, глубоко и неразрывно связаны с явлениями электротона.

Может быть, наиболее замечательная сторона альтерационного круга явлений сводится к следующему. Как указано, альтерационные смещения показателей сопровождаются сравнительно медленными, длительными и низковольтными смещениями биоэлектрического потенциала, совершающимися в разных случаях как в сторону минуса, так и в сторону плюса. Среди них нет более устойчивых или менее устойчивых состояний; они протекают под знаком антитезы "состояние экзальтации — состояние угнетения или торможения", причем оба эти состояния обладают одинаковой степенью устойчивости. Какого-либо особого, качественно отличного от всех прочих уровня нуля или покоя среди них нет.

Альтерационные смещения показателей не связаны ограничениями, налагаемыми законом "все или ничего", и протекают с самыми разнообразными градациями интенсивности. Не подчиняясь закону "все или ничего", альтерации чужды и явлению стойких порогов: даже на самые слабые альтерирующие воздействия неокинетический элемент откликается какими-то, хотя бы и слабыми, смещениями своих характеристик.

Далее, процесс альтерационного смещения распространяется вдоль элемента не по типу фазовой волны: его протяжные сдвиги растекаются по волокну медленно и со значительным декрементом. Наконец, электротонические смещения показателей возбудимости и характеристик возбуждения, если вызывать их посредством адекватных, но подпороговых раздражений, не проявляются с первого раздраже-

ния, а требуют повторной и настойчивой раскачки (так называемая суммация подпороговых раздражений), но зато после прекращения серии смещающих воздействий часто обнаруживают явление, во всех отношениях сходное с остаточным разрядом.

Если еще добавить ко всему сказанному, что в настоящее время гуморальный, медиаторный характер альтерационных смещений не подвергается никакому сомнению, то окажется, что описанная картина *смещений всех характеристик возбудимости неокинетического элемента и протекания его возбудительной вспышки есть не что иное, как палеокинетический процесс*, перенесенный на неокинетический субстрат со всеми своими свойствами, включая даже такие (например, способность к иррадиации), которые, казалось бы, стоят в прямом противоречии с его морфологической структурой. Итак, пороги возбудимости, амплитуда и быстрота протекания спайка, скорость распространения фазовой волны, длительности, интенсивности и сопутствующие потенциалы постэксцитаторных фаз, механические параметры поперечнополосатой мышцы — короче говоря, все свойства и стороны неокинетического процесса *обладают закономерной изменяемостью в неразрывной связи и строгом параллелизме с проявлениями палеокинетического процесса, развертывающегося на том же субстрате.* Неоспоримо, что под этой связью и параллелизмом скрыта *прямая причинная обусловленность*, свидетельствующая о том, что палеокинетический процесс обладает способностью являться *регулятором неокинетического процесса*, обеспечивающим последнему ту самую гибкость и настраиваемость, которой так недостает ему, взятому в изолированном виде.

В частности, применительно к скелетной мышце установленное выше тождество между совокупностью электротонических смещений и палеокинетическим процессом приводит к очень важному выводу. В полном соответствии с ним и охарактеризованные выше электротонические смещения мышечных параметров — длины покоя и коэффициентов упругости и вязкости — обнаруживают полную аналогию с основным механическим сократительным процессом палеокинетической гладкой мышцы; это есть *физиологическая деятельность поперечнополосатой мышцы по образу и подобию гладкой*. Обобщая все известное по этому поводу, мы имеем все основания утверждать, что это есть тот самый круг явлений, который обозначается термином "*физиологический тонус* поперечнополосатой мышцы", до сих пор не имеющим точного и общепринятого определения. Все изложенное и приводит нас к этому искомому точному определению: *мышечный тонус есть палеокинетический модус работы поперечнополосатой мышцы*, иными словами — деятельность ее по образу и подобию гладкой мышцы. Это определение согласуется со всем имеющимся фактическим материалом и при этом открывает очень широкие горизонты для дальнейших физиологических обобщений накопленных к настоящему моменту фактов.

Прежде всего из сказанного следует, что физиологический тонус скелетной мышцы есть *сложная и целостная совокупность явлений* отнюдь не одного только механического порядка. В соответствии с правилом параллелизма кат-электротоническое смещение тонуса мышцы проявляет себя, с одной стороны, *уменьшением длины покоя волокна* (т.е. его укорочением), сопровождаемым возрастанием его *коэффициентов упругости и вязкости*; с другой же стороны, оно выражается в *увеличении его возбудимости*, т.е. снижении всех порогов, и

в возрастании амплитуд всех сторон неокинетического фазического сокращения: его высоты, мощности, скорости, амплитуды спайка и т.д. Иначе говоря (слегка жертвуя точностью определений в интересах наглядности), в механическом плане катэлектротонический сдвиг тонуса проявляет себя *двояко*: в виде нарастания *тонического напряжения* мышцы и в виде создания предпосылок для усиления *фазического сокращения* и *напряжения* (неокинетической вспышки), разыгрывающихся на его фоне. Анэлектротоническое смещение (угнетение) тонуса проявляет себя всесторонне-обратным образом, вплоть до полного блокирования неокинетического процесса.

Рядом с этим следует отметить, что подчеркивавшийся выше строгий параллелизм между постэксцитаторными фазами колебаний возбудимости и сопутствующими колебаниями следовых потенциалов может теперь уже легко быть расценен как имеющий все ту же электротоническую природу. Таким образом, серия постэксцитаторных сдвигов, охватывающих совокупность всех сторон возбудимости и возбуждения по правилу параллелизма, есть не что иное, как молниеносно быстрая *последовательность альтераций* сменяющихся знаков. Сопоставляя этот вывод с данным выше определением физиологического тонуса неокинетической мышцы, мы обнаружим, что тонические смещения отнюдь не обязательно медлительны по своей природе: цепочка постэксцитаторных смещений включает в себя и быструю, закономерную последовательность колебаний механических параметров тонуса. Как показывает точный анализ, при оптимуме частоты тетанизации эти быстрые следовые смещения тонуса прямо способствуют увеличению высоты и слитности тетануса.

Определение *тонической деятельности* поперечнополосатой мышцы как *палеокинетического модуса ее работы* подкрепляется и констатированными при ее тонических сокращениях медленными, низковольтными сдвигами биоэлектрических потенциалов, и доступностью для этих сокращений любой длительности, и возможностью для них любых градаций интенсивности, т.е. их иммунитетом по отношению к закону "все или ничего", и отсутствием в них явления фазовой волны, и, наконец, равной возможностью для них *изменений обоих знаков.* Действительно, в области тонической деятельности поперечнополосатой мышце доступно как активное укорочение, так и активное удлинение, совершенно чуждое неокинетическому процессу. Такого рода активное удлинение наблюдается, например, при явлении реципрокного расслабления мышц-антагонистов, играющем важнейшую роль в координации и описываемом ниже.

Сделанный подробный анализ альтерационных, иначе — электротонических, иначе — палеокинетических, явлений в неокинетической нервно-мышечной системе и тех регуляционных возможностей, которыми обладает палеокинетический процесс по отношению к неокинетическому взрывному стандарту, нужен был в настоящем изложении потому, что (как это уже проскальзывало и выше) все эти явления отнюдь не относятся к числу только экзогенно вызываемых, искусственых процессов. Как показывает широкий круг разнороднейших наблюдений, все те явления, которые мы обобщили под названием палеокинетического процесса, действительно непрерывно имеют место в физиологических условиях на неокинетических субстратах неповрежденного организма, играя в них координационную роль первостепенной важности. У высших позвоночных этот процесс является орудием *центральной регуляции* и возникает *в стволовых мезэнцефалических ганглиях*

головного мозга, спускаясь оттуда по проводящим путям спинного мозга к синапсам передних рогов и далее — по мотоневронам — к скелетным мышцам. Этот центрально управляемый палеокинетический регуляционный процесс многократно просвечивал в наблюдениях разных авторов, по большей части и не подозревавших, что они наблюдают один и тот же цикл процессов. И спинномозговые "медленные потенциалы" американских авторов, и переменные состояния возбудимости и угнетения (CES и CIS) Sherrington, и интермиттирующий фактор Barron и Matthews, и субординация Lapicque, и торможение Сеченова, и т.д. — все это может сейчас уже, без сомнений, быть причислено к проявлениям описываемого регуляционного цикла. Как будет далее показано, этот цикл и представляет собой физиологическое содержание функции наинизшего из координационых уровней построения человека — рубро-спинального уровня палеокинетических регуляций *А*, к характеристике которого мы и переходим.

Итак, в скудное однообразие слепого разряда энергии, каким, по сути дела, является неокинетический взрывной процесс, физиология центральной нервной системы вносит существенный корректив. *Палеокинетическая, тоническая* (электротоническая плюс гуморальная) *деятельность стволовых аппаратов центральной нервной системы* берет на себя в известном смысле *возглавление и регуляцию* филогенетически более нового, но обладающего целым рядом отрицательных сторон *неокинетического, фазического* (биоэлектрического) *процесса.* Эта регуляция не вмешивается в самое протекание неокинетических спайковых залпов, ничего не прибавляет к ним и не убавляет от них: она лишь создает для них *преднастройку*, предустанавливает значения констант и параметров, по которым будет далее развертываться протекание неокинетического процесса. Образно можно было бы сравнить ее действие с зажатием пальцем скрипичной струны, которое само не создает звука, но определяет то, какой звук будет далее извлечен движением смычка, или же с установкой на клавишах арифмометра требуемого многозначного числа, которое затем, после поворота рукоятки, появится в цифровых окошечках аппарата. Не случайно то, что Lapicque сравнил одно из подмеченных им проявлений этого подготовительно-регуляционного процесса с переводом железнодорожных стрелок (aiguillage), к чему мы еще вернемся ниже.

Уровень палеокинетических регуляций, он же рубро-спинальный уровень, обозначенный в сводной описи символом *А*, по осуществляемым им функциям есть не только низший, но и неоспоримо древнейший в филогенезе, чего, однако, нельзя сказать о его субстратах у человека. Анатомическая ядерная система группы красного ядра сформировалась только у млекопитающих, и туда мигрировал в порядке энцефализации целый ряд функций, выполняющихся и доныне выполняемых у нижестоящих позвоночных системою спинного мозга. Весь этот ход развития будет освещен ниже, в гл. VII.

Спинной мозг, взятый в отдельности, т.е. мысленно отделенный от мозгового ствола ниже уровня красных ядер, настолько инволюционировал у человека по ходу процесса энцефализации, что не обусловливает не только каких-либо самостоятельных движений, но даже внятных фоновых компонент. Все, что он может дать изолированно, — это в лучшем случае один-два искусственно вызываемых клинических рефлекса. Неверно было бы, однако, заключать отсюда, что мы приписываем ему только чисто передаточную роль. Как сейчас будет указано, активная роль спинного мозга у человека еще довольно многообразна, но только нет ни

одного естественного физиологического процесса, в котором он выступал бы в одиночку, а не как одно неразрывное целое со стволовой (мезэнцефалической) частью головного мозга. Именно в силу этого мы даем описываемой системе наименование *рубро-спинального уровня.*

Анатомический субстрат рубро-спинального уровня (т.е. совокупность органов, без которых функция этого уровня невозможна) составляют: спинной мозг с его клеточными образованиями и по крайней мере частью проводящих путей; группа клеточных ядер в стволе головного мозга, которую мы для краткости обозначаем как *группу красного ядра* и которая включает в себя само красное ядро с его двумя частями (palaeorubrum и neorubrum), substantiam nigram, ядро Даркшевича и, может быть, люисово тело, область hypothalami, ядро Дейтерса, древний мозжечок и, наконец, в каких-то не вполне ясных функциональных отношениях, центральная часть вегетативного, парасимпатического и симпатического нервного аппарата.

Афферентации, определяющие собой характер работы уровня, построенного на этом субстрате, представляют в основном: а) древнейшие компоненты проприоцептивной чувствительности — то, что можно обозначить как проприоцепторику тропизмов, — исходящие из концевых аппаратов, воспринимающих величину и направление мышечных напряжений и усилий, и из отолитовых аппаратов уха (палеолабиринтов), и б) древнейшие же компоненты танго-рецепторики, а именно то, что объединяется под термином "протопатическая чувствительность". Относительно этой последней не подлежит уже никакому сомнению палеокинетический характер ее протекания, особенно явно выступающий при так называемых гиперпатиях, т.е. синдромах выпадения эпикритической чувствительности при соответственно локализованных мозговых очагах: итеративная медленность раскачки, остаточный разряд, наконец, ясно выраженная иррадиация. Микрофизиологический характер древнепроприоцептивного процесса еще не очень ясен. Вся перечисленная афферентация, объединенная в довольно несложный синтез, сигнализирует животному о положении и направленности его тела в поле тяготения и, что, может быть, является наиболее существенным для координации, о величинах растяжения (по длине) и напряжения (по силе) скелетных мышц. Именно этот уровень выполняет в самом основном тот круговой коррекционный процесс согласования эффекторной активности каждой мышцы с ее наличной длиной, схема которого была обрисована в гл. II под именем *рефлекторного кольца.*

Здесь необходимо осветить один очень общий принцип. Основываясь на отмеченном выше факте эволюции центральной нервной системы по типу качественного обрастания (а не количественного разрастания), можно было бы представить себе центральную нервную систему при функционировании некоторого уровня *P* работающей так, как если бы она была усечена сверху вплоть до ядерных субстратов этого уровня. Это, однако, совершенно неверно. Если бы можно было иметь в своем распоряжении некий светофильтр, через который центральная нервная система высшего млекопитающего могла быть наблюдаема в строго "монохроматическом свете" одного определенного уровня (фигуральное пожелание, возникшее по аналогии с доступной современным астрономам возможностью наблюдать солнечную поверхность в монохроматических лучах одной определенной спектральной линии), то через светофильтр уровня *P* она оказалась бы видимой по-прежнему в полной комплектности всех ее активных образований, вплоть

до самых новейших, т.е. работающею и в этом случае как одно неделимое целое, но при этом не преминули бы обнаружиться два капитальных факта, с необходимостью уясняющихся косвенно и из наблюдений, доступных сейчас. Во-первых, при таком монохроматическом аспекте оказались бы резко измененными пропорции, функциональные удельные веса и даже размеры структурных частей мозга по сравнению с их фактическим обликом, соединения же, синапсы и проводящие пути одни резко подчеркнулись бы, другие, наоборот, стушевались до полной нераспознаваемости. Во-вторых же, тот физиологический процесс, который вычленился при подобном наблюдении и из всех текущих в центральной нервной системе процессов, обнаружил бы четко своеобразные особенности и характеристики, притом очень близко сходные с теми, которыми он обладает на низших ступенях филогенеза, у тех видов, у которых этот уровень *Р* и его определяющие морфологические субстраты являются потолком их возможностей и морфогенетических достижений. Таким образом, центральная нервная система высшего млекопитающего ведет древний по всем своим свойствам физиологический процесс, характерный для уровня *Р*, на измененном и обогащенном субстрате, неизбежно стилизующем его несколько по-иному и делающем его одновременно и таким и не таким, каким он был некогда, в эпоху главенствования уровня *Р*. Если двигательный акт, реализуемый центральной нервной системой, представляет собой сложную структуру с рядом фоновых уровней под верховным управлением ведущего, то на одном и том же неделимом субстрате центральной нервной системы высшего млекопитающего одновременно и совместно протекает ряд резко не сходных между собой физиологических процессов, не только не сбивающих друг друга в здоровой норме, но, наоборот, взаимодействующих между собой и дооформляющих друг друга.

Именно такой случай с особенной четкостью выявляется применительно к функции рассматриваемого рубро-спинального уровня *А*. Если начать с субстрата, то наблюдаемый через монохроматическое стекло марки "А" головной мозг еще очень мал, беден и по преимуществу мелкоклеточен; в его кору сензорные импульсы уровня *А* затекают скудно, диффузно, не часто достигая поля сознания. Самое важное то, что этот головной конец — далеко еще не главный конец; это скорее "спинной мозг головы", обслуживающий головные метамеры, как arteria coronaria обслуживает сердечную мышцу. Весь ствол центральной нервной системы в целом по уровню *А* еще очень отчетливо функционально метамерен и особенно явственно связан с вегетативной нервной системой (в стекла марок других, вышележащих уровней эта связь почти не видима).

Процесс, развертывающийся на этом субстрате, есть не что иное, как рассмотренный в начале этой главы *палеокинетический возбудительно-тормозной процесс,* которому и было уделено там место не во имя тех движений, которыми он ведает во внутренних органах и которые в общем балансе психомоторики представляют мало интереса, а именно в связи с той ролью, которая выпадает ему в области соматических координационных регуляций. Как будет видно из последующего изложения, в каждом уровне построения физиологический процесс имеет свои приемы осуществления сензорных коррекций, свои особенности протекания и работы, характерные для него не в меньшей степени, нежели качественный состав образующих его афферентаций. Способ координационного управления, характерный для рубро-спинального уровня *А*, есть исходящее из центральной

нервной системы и протекающее на неокинетической нервной и мышечной сети регулирующее воздействие на неокинетический, тетанический эффекторный процесс посредством палеокинетических, электротонических смещений его характеристик, — как раз тот цикл явлений, которому была посвящена первая часть этой главы. Очень своеобразно, что палеокинетический процесс, родившийся в филогенезе вместе со своим специфическим субстратом —безмякотной, невропилевой нервной сетью и системой гладких мышц, и продолжающий даже у высших млекопитающих протекать на нем же в ограниченных пределах вегетативного аппарата, в то же время сумел акклиматизироваться и на неокинетическом субстрате, казалось бы, резко чуждом ему как по эпохе своего возникновения, так и по всем своим структурным свойствам. На этом субстрате, обеспечивающем миэлиновыми оболочками своих аксонов все условия для "закона изолированного проведения" фазовых волн неокинетического возбуждения, он как-то умудряется иррадиировать ничуть не хуже, чем на палеокинетическом невропиле, насквозь пронизанном и простеганном анастомозами. Там, где неокинетический взрывной процесс встречает острые, трудно смещаемые пороги, палеокинетика течет характерным для нее беспороговым стилем с обширными итеративными смещениями показателей возбудимости. О том значении, какое имеет этот процесс для организации неокинетических цепей возбуждения, было уже сказано выше; нужно еще рассмотреть, в каких явлениях обнаруживает себя эта регуляция и какие стороны координационного процесса она обслуживает.

Прежде всего на долю рубро-спинального уровня выпадает ряд так называемых спинальных рефлексов, в свое время очень подробно изученных школой Sherrington и, в сущности, представляющих собой переходной фазис от чисто метамерного модуса работы спинного мозга к некоторой интеграции. Здесь, на этом уровне, интеграция осуществляется еще в порядке плюрисегментальных иннерваций, постепенного иррадиационного вовлечения в работу возрастающего числа метамеров и, наконец, что образует собой уже более высокую качественную ступень, в порядке одновременного и последовательного распределения возбуждений и торможений не только по мышцам метамеров, но и по антагонистическим парам мышц *конечностей* — образований, филогенетически более молодых, нежели метамеры. Наиболее характерным среди рефлексов этой группы является рефлекс *реципрокной иннервации и денервации* антагонистов, лежащий в основе всякого вообще движения конечностей. Этот рефлекс обеспечивает при вступлении одной из мышц конечности или пояса в активный тетанус денервацию ее антагониста. Из сказанного в первой части этой главы следует, что эта *денервация есть анэлектротоническое снижение тонуса,* сопровождаемое, конечно, параллельными анэлектротоническими сдвигами всех показателей возбудимости и параметров протекания возбуждения. Реципрокная денервация сопровождается спонтанным удлинением мышцы, не связанным с растягиванием мышцы какой-либо вне ее возникающей силой, поскольку такое же удлинение можно наблюдать и на мышце с перерезанным и отпрепарированным концевым сухожилием. Это удлинение мышцы яснее всего доказывает палеокинетический характер совершающегося в ней процесса, поскольку неокинетический спайк, всегда электроотрицательный, во всех случаях дает укорочение мышцы; и только сдвиг потенциала в сторону плюса, доступный биполярному палеокинетическому процессу, способен обусловить ее удлинение.

Раз речь уже зашла о спинальных рефлексах, нельзя не вспомнить о мнении, еще недавно имевшем многочисленных адептов: всякое сколь угодно сложное координированное движение может быть рассматриваемо как мозаика (или синтез — слово здесь мало меняет суть дела) из рефлексов. Современная неврологическая концепция решительно отмежевывается от подобного атомизма. Для того чтобы получить простые рефлексы, надо не целостное движение разбить на отдельные кусочки, а надо расположить все возможные для человека целостные движения в ряд в порядке их возрастающей сложности, и тогда на том конце ряда, куда мы отнесем наименее сложные, мы найдем и все рефлексы.

К множеству аргументов, способных подкрепить это положение, теория координации добавляет один новый, может быть, наиболее сильный. Каждый уровень построения отличается от других по качеству и составу определяющих его афферентаций. Построить одно движение высшего уровня из множества движений низовых уровней, например из рефлексов уровня *A*, так же невозможно, как невозможно из тысячи осязательных или проприоцептивных ощущений скомбинировать хотя одно зрительное.

Совсем иное дело — участие элементарных движений или элементов движения, управляемых низовым уровнем, в построении сложного координированного акта, ведущегося на одном из вышележащих уровней. Здесь необходимо установить полную ясность. Нет и не может быть таких *движений*, управляемых каким-либо уровнем, из которых, как из кирпичей, составлялось бы движение более высокого уровня. *Но процессы замыкания* с рецепторики на эффекторику в порядке функционально-проприоцептивного рефлекторного кольца, процесса координационной зашифровки импульсов необходимым образом текут в низовых уровнях при реализации движения более высокого уровня, создавая для него то что может быть названо "черновой техникой" движения, используя те необходимые афферентации, которые до более высоко расположенных уровней и не доходят, и разгружая эти верхние уровни от вникания в бесчисленные вспомогательные ингредиенты, необходимые каждому движению. Именно в силу этого обстоятельства при определении понятия уровней построения везде говорилось о *ведущих уровнях*, а не о единственных или монопольных по данному движению. Ниже мы увидим на ряде примеров, как явственно вскрывается иногда структурная многослойность того или другого движения; сейчас упомянем только, что ведущий уровень явно распространяет свой контроль на все нижележащие, фоновые уровни, участвующие в данном движении, так что каждый из последних исполняет свою партию в оркестре движения, но уже теряя в какой-то мере свое индивидуальное лицо и звуча только из-под палочки уровня-дирижера.

Следующую группу процессов, выполняемых рубро-спинальным уровнем, для которых рубральное происхождение точно доказано, составляет то, что называется *субординацией хронаксий*, т.е. центральное регулирование скоростных показателей возбудимости мотонов[1]. Это явление было впервые констатировано L. & M. Lapicque при изучении хронаксии и потому обычно относится только к ней одной; но не знающее исключений правило параллелизма смещений

[1]Мотоном мы называем совокупность: а) мотоневрона и б) соединенного с ним мышечного пучка — так называемого миона. Термин "мотон" является синонимом английского термина "motor unit".

сохраняет свою силу и здесь, т.е. субординационный процесс смещает все характеристики возбудимости и фазового процесса в нервном и мышечном элементе, а равным образом и механические параметры мышцы, характеризующие ее тонус. Субординация имеет в большинстве случаев тормозной, анэлектротонический характер, хотя с несомненностью доказаны и субординационные сдвиги противоположного знака. Необходимо отметить, что в то время, как процесс возбуждения с сопутствующим ему электроотрицательным сдвигом потенциала несомненно един во всей нервной системе высшего позвоночного, явления угнетения или торможения явно очень многообразны по своей физиологической природе.

Координационное значение субординации указано было уже самими открывшими ее авторами. Поскольку, согласно Lapicque, необходимым условием для синаптической проводимости является *изохронизм* (хотя бы и очень приблизительный) обоих разделяемых синапсом возбудимых образований — двух невронов или мотоневрона и мышцы, поскольку планомерные смещения хронаксий посредством субординации, способные превращать изохронизм в гетерохронизм и обратно в синапсах клеток передних рогов спинного мозга, могут, по выражению Lapicque, "переводить стрелки" для эффекторного импульса, не давая ему, как правило, затекать одновременно в оба члена антагонистической мышечной пары. Очевидно, подобный перевод стрелок ("aiguillage") — все тот же акт реципрокной иннервации и денервации антагонистов, описанный Sherrington, но отмеченный с новой точки зрения. Несомненно, Lapicque удалось глубже, чем Sherrington, проникнуть во внутреннюю физиологическую сущность этого акта.

Следующая группа явлений, происходящих из системы красного ядра, — явлений, впервые указанных тем же Sherrington и детально изученных Magnus, de Kleijn и Rademaker, а именно группа тонических рефлексов, не требует особых разъяснений для установления ее полного тождества со всеми явлениями, рассмотренными выше. В настоящее время нет более сомнения, что и мышечный тонус (по крайней мере, в его наиболее типических проявлениях), и субординация, и еще целый ряд явлений, которые будут перечислены ниже, представляют собой даже не разные стороны одного основного явления, а всего лишь разные способы смотреть на одно и то же явление и экспериментально вызывать его.

Под названием *мышечного тонуса* в настоящее время объединяется так много явлений, что не удивительно, до какой степени это понятие стало в конце концов трудным для определения. К группе явлений, подводимых под этот термин, относится и целиком гуморальный "пратонус", изучавшийся Uexcüll на низших беспозвоночных и сам переливающийся, как жидкость, по их лучам и конечностям. И тот (очевидно, основной) сложный палеокинетический синтез гуморально-электротонических *смещений возбудительных и механических характеристик* поперечнополосатой мышцы, который уже был охарактеризован и выглядит в механическом плане как *работа* (сокращение и расслабление) *поперечнополосатой мышцы по образу и подобию гладкой.* И две разновидности скорее всего именно этого палеокинетического тонуса, настолько резко несходные, что в них нелегко усмотреть явления одного общего генеза: а) *эластический* тонус, повышающийся при кортикальных гемиплегиях, и б) *вязкий* тонус, нарастающий при поражениях среднего звена экстрапирамидной системы. За упомянутыми видами тонуса следуют более молодые, но все еще явно тони-

ческие формации: те тонические сокращения, которые получила на мышцах децеребрированной кошки Briscoe (а за ней А.А. Горшков и А.А. Гусева из лаборатории А.А. Ухтомского), действуя на них непрямыми электрическими раздражениями подпороговой частоты и силы. Судя по частотам, применявшимся этими экспериментаторами, тонусу этой разновидности соответствует в электромиограммах частотная полоса между примерно 15 и 30 Гц. Наконец, сюда же приходится отнести те уже прямо переходные формы между тонусом и тетанусом, которые иногда так и называются "*тетаническим тонусом*" и наблюдаются, например, при шейно-туловищных стато-кинетических рефлексах. Называть всю эту массу разнороднейших явлений одним и тем же обозначением "тонус" в настоящее время ничуть не лучше, чем называть, например, все процессы, протекающие в пищевом тракте от верха до низа, одним словом "пищеварение", не подразделяя далее этого понятия.

Итак, для ясности необходимо, во-первых, выделить изо всей этой пестрой массы по возможности узкую и гомогенную группу явлений, за которой должно быть удержано название тонуса, и, во-вторых, дать этой группе возможно более четкое определение. Мы будем в дальнейшем изложении понимать под мышечным тонусом *палеокинетический модус работы поперечнополосатой мышцы, взятый в его целом,* т.е. включающий в себя не только смещения механических параметров мышцы, но и все сдвиги, неразрывно связанные с этими смещениями согласно правилу параллелизма. С этой точки зрения тонус мышцы есть отнюдь не только наличное состояние упругости и вязкости мышечной ткани и изменения этого состояния, но и вся совокупность явлений *гибкого и пластичного реагирования возбудимости* мышечного массива в условиях работы целостного организма. *Тонус есть текучее состояние подготовленности нервно-мышечной периферии к избирательному принятию эффекторного процесса и к его реализации.* Сюда отходят, таким образом, и самостоятельные тонические сокращения, и расслабления скелетных мышц, и механический фон совокупности коэффициентов упругости и возбудимости, на котором протекают активные неокинетические тетанусы, и, наконец, вся совокупность явлений предварительной установки нервно-мышечной периферии на имеющую прибыть к ней эффекторную импульсацию.

В частности, единство тонических и субординационных явлений доходит до того, что даже одни и те же способы нанесения раздражения вестибулярному аппарату вызывают как характерные магнусовские сдвиги шейного и туловищного тонуса, так и субординационные смещения хронаксий. Как субординационному "переводу стрелок" в спинальных синапсах сопутствует заодно снижение тонуса антагонистов в соответствии с правилом параллелизма, т.е. реципрокное расслабление, так и обратно, перераспределение тонуса, наблюдаемые при вращениях головы и всякого рода раздражениях вестибулярного (отолитового) аппарата, сопровождаются попутно перераспределением возбудимости мышечного массива и его "готовности" к тетанусам: в тех группах мышц, в которых имеет место повышение тонуса, отмечается и увеличение (всякой, а в частности, электрической) возбудимости.

Палеокинетические явления в самых различных разделах и этажах центральной нервной системы, имеющие несомненное регуляционное значение и во многих случаях ясно вскрывающие свое родство с управлением возбудимостью и прово-

димостью нервных образований по отношению к неокинетическим потокам, должны также быть причислены к разделу отправлений анализируемого уровня построения. Так, следует упомянуть об обширных группах явлений, обобщенных Sherrington как центральные состояния возбужденности и угнетения (Central excitatory state и Central inhibitory state, сокращенно CES и CIS), характеризующие общее состояние спинного мозга или того или иного из его рефлекторных полей, интересные в том отношении, что сам автор упомянутых терминов, а вслед за ним в последнее время и Fulton, подчеркнули их неоспоримо гуморальный характер. Эта черта гуморализма роднит обсуждаемые состояния опять-таки с палеопроцессом и позволяет видеть в них, может быть, наиболее обобщенные формулировки центрального палеокинетического регуляционного механизма рубро-спинального уровня. Записанные со спинного мозга характерные "медленные потенциалы" (slow potentials) чрезвычайно похожи по всему облику кривых на палеокинетические процессы, записанные осциллографическим путем с их исконных субстратов во внутренних органах.

Одним из убедительных доказательств того, что центральная нервная система работает для рубро-спинальной палеокинетики не усеченно, а своим полным составом, является факт записи медленных биоэлектрических кривых, вполне аналогичных с вышеупомянутыми, и с коры полушарий. На электроэнцефалограммах коры, записанных синхронно с кривой биоэлектрических потенциалов работающей мышцы, проступают совершенно ясно наложенные одна на другую две различные ритмовые группы. Одна из них, охватывающая частотную полосу примерно от 40 до 80 Гц, бывает часто синхронной "удар в удар" со спайками тетанической цепочки, параллельно записываемой с мышцы (рис. 15); это так называемый β-ритм (Berger). Вторая группа, в которой анализ вскрывает целый спектр различных частот от 6—8 до 15 Гц, носит название α-ритма. Палеокинетический характер этой медленной группы вне всяких сомнений, хотя явления здесь сильно осложнены по сравнению с периферией, как это и подобает коре головного мозга.

Характерными местами возникновения α-волн являются мелкоклеточные поля и слои коры, относящиеся к филогенетически древним структурам (например, зрительная зона area striata), в то время как спайкообразные β-волны генерируются, как правило, филогенетически более новыми крупноклеточными образованиями. В преобладающей части ганглиозные образования, от которых начинаются длинные эффекторные аксоны, крупноклеточны; таковы пятый слой пирамидного поля коры, pallidum, эффекторные клетки corporis striati, отдел красного ядра, дающий начало рубро-спинальному тракту Monakow, и т.п. Наоборот, мелкогранулярные структуры характерны преимущественно для непроекционных отделов коры, и не исключено, что преобладающая часть мелких клеток этих полей вовсе не посылает аксонов в белое вещество, входя в качестве составных элементов в древнетипные невропильные образования.

Следующая группа соображений в пользу палеокинетической природы α-ритмов была высказываема в разных вариантах уже многими авторитетными исследователями (Rohracher, Kornmüller, Adrian, Walsh и др.) и, видимо, начинает приобретать общее признание. Это аргументы, говорящие о тесной связи α-ритмов с гуморальными, метаболическими процессами в ганглиозных образованиях (сравнить с метаболической трактовкой следовых потенциалов в аксоне!) и, в частности,

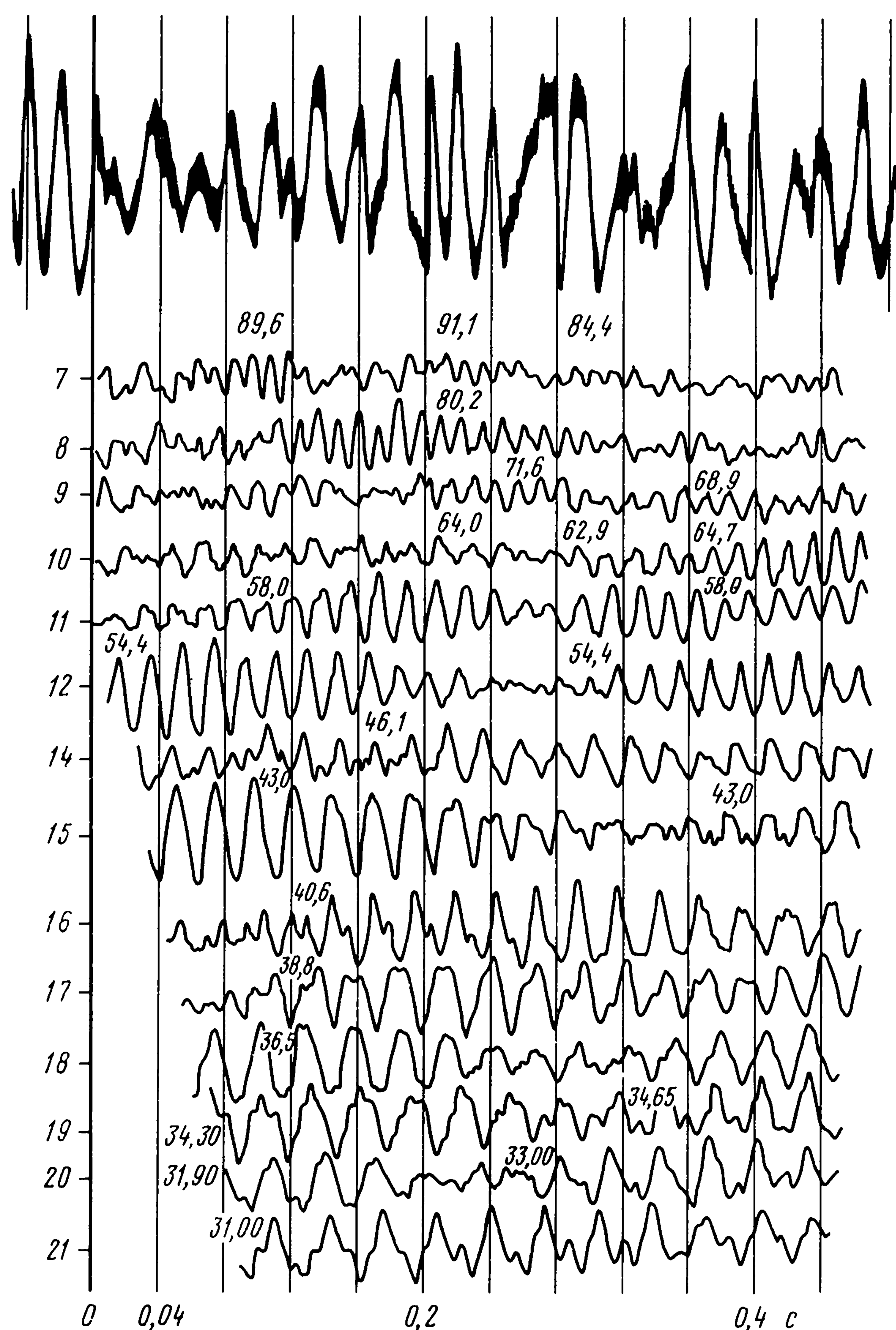


Рис. 15. *Наверху* — электромиограмма короткого произвольного изометрического напряжения бицепса человека. Ординаты: отметка времени — 25-е доли секунды (работа автора и Л. Осипова, ЦНИИФК, 1941 г.). *Под электромиограммой* — "партитурное" разложение ее по методу автора на составляющие колебания. Над каждым из колебательных залпов указана его частота, Гц. Цифры слева — длительности применявшихся для анализа "испытательных периодов" в 1/650 долях секунды

с процессами ассимиляции и ресинтеза. Об этом говорит поведение β-ритмов как "токов покоя", наиболее четко выявляющихся при полном эмоциональном спокойствии и бездеятельности испытуемого, изолированного от внешних раздражений, и немедленно исчезающих с возобновлением активности мозга. В то же время α-волны не являются выразителями чистого базального обмена, поскольку они, как правило, исчезают во время сна. Связь их с состоянием покоя и недеятельности, с одной стороны, с другой же — то обстоятельство, что в бодрствен-

ном состоянии их не удается подавить более чем на несколько десятков секунд, после чего они прорываются вновь с такой же неукоснительностью, как задержанное дыхание, свидетельствует с наибольшей вероятностью именно о их ассимилятивной роли. Во сне их нет именно потому, что при отсутствии диссимиляции нет необходимости в ассимиляции[1].

Еще одно явление, нередко явственно выступающее на электроэнцефалограммах, уже совсем отчетливо говорит о регуляционном и именно электротоническом характере влияния палеокинетического α-процесса на тетанические β-спайки. На очень многих электроэнцефалографических записях можно видеть, что всякий раз, как медленная волна α-ритма поднимается кверху, в область электроотрицательных (катэлектротонических) потенциалов, амплитуды нанизанных на нее β-спайков увеличиваются; наоборот, в углублениях медленной α-кривой, т.е. в ее анэлектротонических фазах, β-спайки становятся мельче или даже исчезают вовсе (М.Н. Ливанов). Трудно было бы придумать более выразительную и наглядную иллюстрацию сосуществования палео- и неопроцессов и электротонического регуляционного влияния первого на второй. Анэлектротонические долины могут достигать такой глубины, что она вызывает полное тормозное блокирование "спайкового" процесса на все то время, пока эти долины длятся. Такое явление было действительно обнаружено на спинному мозгу в 1935 г. Barron и Matthews и приписано ими действию некоего "интермиттирующего фактора" (intermittent factor); это дало палеорегуляционному процессу еще одно, (n + 1)-е имя, в чем он вряд ли так уж остро нуждался.

Фундаментальным процессом, определяющим собой координационную функцию рубро-спинального уровня, является, конечно, гроцесс осуществления сензорных коррекций, приходящихся на его долю. Как уже было показано в гл. II, напряжение мышцы есть величина, определяющаяся уравнением с двумя неизвестными; оно зависит: 1) от физиологического состояния мышцы (того, что можно назвать механической мерой ее возбуждения) и 2) от ее наличной длины (и еще скорости деформации). Текущее значение второй переменной, непосредственно не подвластной центральной нервной системе, сигнализируется ей через проприоафферентацию: и задача центральной нервной системы — подставить в уравнение такое значение первой переменной, т.е. так оформить возбудительный процесс в мышце, чтобы результирующее решение уравнения дало величину механического усилия, как раз требуемую по условиям движения. Это и есть то, что уровень *A* делает непрерывно, от миллисекунды к миллисекунде; и мы знаем теперь, как именно он это делает. Он не добавляет к неокинетическому процессу, текущему транзитом через его эффекторный субстрат, ни одного лишнего спайка, но все время дозирует электротоническим путем эти тетанические гребешки, что, кстати сказать, он может делать трояко. Во-первых, он может непосредственно *воздействовать на амплитуды* спайков этих гребешков, создавая для них ту или другую электротоническую подкладку; во-вторых, может создавать в том или ином проценте мотонов *временную синаптическую непроводимость* — либо посредством гетерохронизма, либо путем включения "интер-

[1] По вопросу о причинах высоких амплитуд α-волн в электроэнцефалограммах, в отличие от характерной для периферических палеопроцессов низковольтности — см. мою статью "Назревшие вопросы современной нервной физиологии" (Физиол. журн. СССР. 1945. N 5—6).

миттирующего фактора"; наконец, в-третьих, может еще непосредственно и очень гибко регулировать механическую сторону *мышечного тонуса*[1].

Очень важно указать, что красное ядро является оконечным эффектором, — так сказать, последним каскадом, — экстрапирамидной эффекторной системы, от которого начинается конечный общий путь всей этой системы, спускающийся к клеткам передних рогов, — рубро-спинальный тракт Monakow. Нервный процесс, нисходящий по этому тракту и возникающий в образованиях экстрапирамидной системы, striatum и pallidum, разумеется, есть неокинетический, тетанический процесс, и красное ядро должно обладать предпосылками к его передаче, даже если бы само оно в норме могло издавать только палеокинетические звучания. Очень вероятной предпосылкой такого рода является наличие в его составе крупноклеточного каудального ядра, от которого и начинается преобладающая часть аксонов монаковского тракта; в составе включенного параллельно с ним ядра substantia nigra также имеется крупноклеточная часть, архитектонически близкая к pallidum и связанная с центробежными проекционными путями. Но, кроме этого, функционально и сам уровень *A*, по крайней мере в патологических случаях, несомненно, в состоянии генерировать неокинетический процесс, хотя бы в явлении "тремора покоя", о котором речь будет идти ниже.

Вряд ли можно уверенно найти у здорового человека хотя одно *самостоятельное движение*, возглавляемое уровнем палеокинетических регуляций как ведущим. Наиболее чистые случаи самостоятельных выступлений этого уровня, когда в силу его роли, в принципе несомненно фоновой, он все же выдвигается на передние планы, — это, во-первых, непроизвольные дрожательные движения: дрожь от холода, стучание зубами от страха, вздрагивание и т.п., а в области произвольной моторики — *быстрые ритмические вибрационные движения* по механизму "рефлекторного кольца"; во-вторых, движения, связанные *с принятием и удержанием определенной позы*. К первым относятся, почти несомненно, быстрейшие фортепианные "vibrato" со скоростью 7—8 ударов в секунду, в тех случаях, когда они протекают по типу вынужденно колебательных движений (рис. 17)[2]; пальцевые вибрации левой руки у скрипачей и виолончелистов; может быть, быстрые автоматизированные просупинации обмахивания веером и т.п. Вторая группа яснее всего наблюдаема тогда, когда уровень *A* оказывается в ведущей роли в одной из фаз сложного цепного двигательного акта: например, в полетной фазе прыжка в воду (рис. 18 и 19) и т.п. Из характерных патологических проявлений первой группы движений, где уровень *A* выступает в действительно чистом ведущем виде, должен быть назван "тремор покоя" паркинсоников, непроизвольный, четко ритмичный, протекающий по безукоризненно правильным синусоидам (рис. 23)[3].

[1] Кажущаяся четвертая возможность — повлиять на амплитуды тетанических спайков путем создания затрудненных условий проводимости в синапсах — в действительности отпадает в силу закона "все или ничего" и бездекрементности проведения неовозбуждения: если проводимость синапса клетки переднего рота и будет ослаблена, то это никак не почувствуется уже в нескольких миллиметрах вниз от него по течению.

[2] *Рис. 16 не помещен, в тексте ссылка у автора отсутствует; рис. 17 не помещен.— Примеч. ред.*

[3] *Рис. 20—22 не помещены, в тексте ссылка у автора отсутствует.— Примеч. ред.*



Рис. 18. "Соскок прогнувшись" в исполнении спортсменки А.К. на конкурсе журнала "Гимнастика" (1937)

Зато реализуемые этим уровнем *технические фоны* настолько многообразны, что невозможно представить себе ни одного двигательного акта вышележащих уровней, который не был насыщен ими в виде как симультанных, так и сукцессивных составляющих. Основной фон, обеспечивающий возможность какого бы то ни было движения, есть *фон гибко реактивного тонуса* всего мышечного массива тела, — тот самый фон, нарушение которого при очаговых поражениях этого уровня дает так называемый амиостатический (нарушающий мышечную статику) симптомокомплекс. Уже очень многие авторы подчеркивали, что тонус склетной мускулатуры чрезвычайно подвижен, реактивен и приспособителен и представляет собой фон как самый глубинный и основной для перспективы всей картины, так и самый древний по филогенезу. Интересно, что в исполнение этой роли "фона всех фонов" палеокинетический процесс рубро-спинального уровня принес с собой с палеотерритории еще одно характерное свойство, оживающее перед нами в моторике низших беспозвоночных: статокинетическую, формоприспособительную функцию. Всего же курьезнее то, что если высшее млекопитающее (это особенно ярко заметно, например, на хищных кошачьих) когда-нибудь и в чем-нибудь бывает похоже своей моторикой на бесскелетных *беспозвоночных*, то это именно в области шейно-туловищных тонических рубро-спинальных движений позвоночника.

Статические компоненты из рубро-спинального уровня обнаруживаются еще в *хваточных* позах. Здесь подразумевается не схватывание (выполняемое более высокими уровнями), а держание, как простое, так и квалифицированное держание инструмента, рукояти, обрабатываемого предмета и т.п. В этих тонически поддерживаемых позах очень ярко проступает снова формоприспособительная, пластическая (в кинематическом смысле слова) функция этого уровня; к ней относится, например, отмеченный Bethe принцип пластического сопряжения (Princip der gleitenden Kopplung) пальцев руки, которому он старался подражать в своих кистевых протезах (см. рис. 74 и 75).

Кинетические фоновые слагающие этого уровня проявляются в целом ряде ритмических произвольных движений высших уровней, сказываясь в виде примеси к ним типа вынужденных колебаний. Они хорошо выражены в движении руки с молотком при ритмическом процессе рубки зубилом, в движениях крыла птицы при полете (как это вытекает из анализа записей E. Marey), движениях рук и ног при локомоциях и т.д.[1] Быстрая сходимость рядов Fourier,

[1] См. наши экспериментальные исследования перечисленных движений и их анализы.

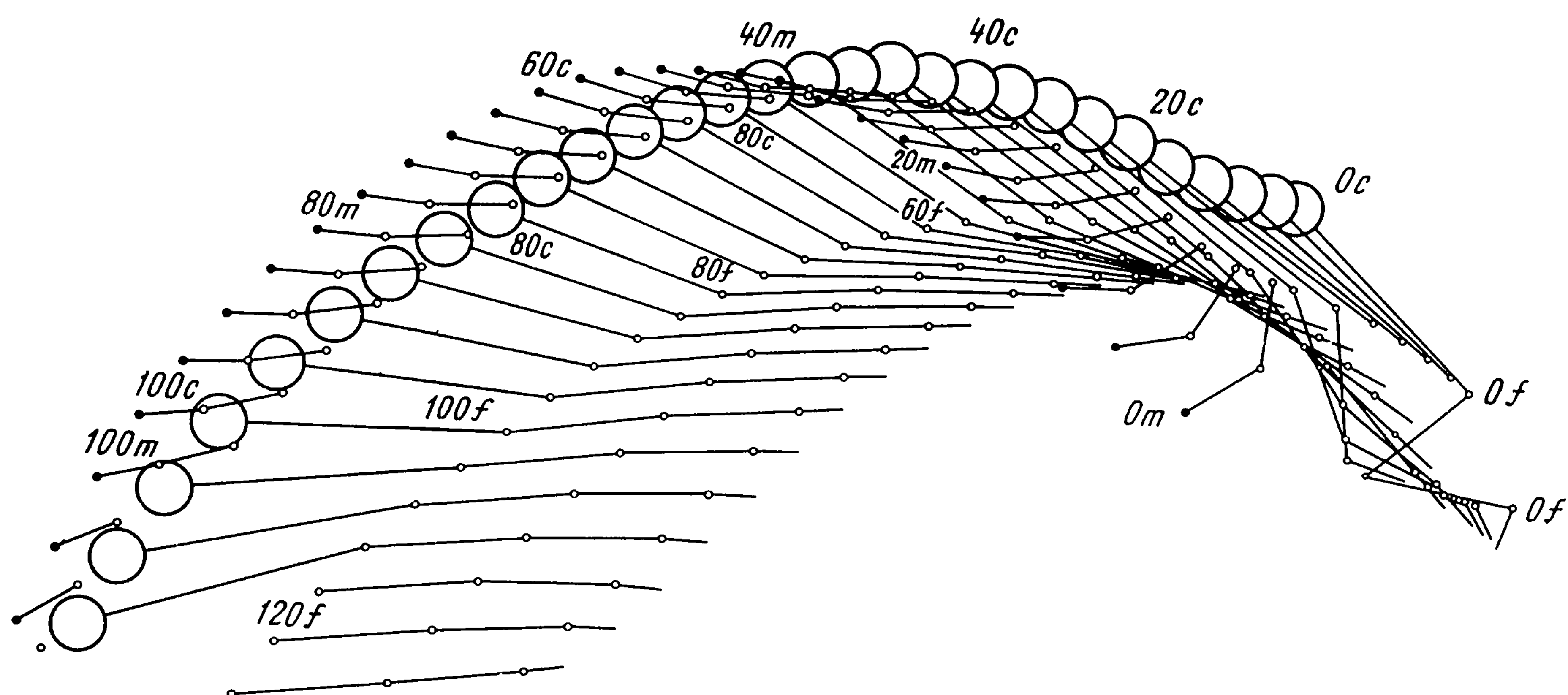


Рис. 19. Фигурки последовательных положений тела при стартовом прыжке в воду
Прорисовка по циклоснимку. Вероятный случай более или менее чистого ведущего положения уровня *А* (работа С. Спицына, ЦНИИФК, 1939 г.)

интерпретирующих живые ритмические движения, есть, по-видимому, очень надежный признак наличия в данном движении кинетических компонент из этого уровня. Если в быстрое ритмическое движение вовлечена несложная кинематическая цепь, например одна только кисть руки (катание пилюль у паркинсоников) или только просупинационная система (обмахивание веером), то движения, управляемые этим уровнем, представляют собой почти чистые синусоиды.

Патологические нарушения работы рубро-спинального уровня проявляются прежде всего в расстройствах по линии тонуса — дистониях[1]. Общеизвестное явление децеребрационной ригидности, возникающее у млекопитающих при перерезке мозгового ствола ниже уровня красных ядер и сводящееся к исчезновению функциональной субординации и к застыванию тонуса мышц на некоей стационарной формуле (различной у разных видов животных), обусловливается выпадением функций именно этого уровня. У человека, как уже сказано, дисфункция уровня *А* дает амиостатический симптомокомплекс; в тяжелых случаях она может давать явления резкой общей гипертонии, каталепсии, ”восковой гибкости” (flexibilitas cerea). Дрожательный паралич Parkinson есть сводка целого ряда явлений нарушения в описываемом уровне, по преимуществу явлений *гипердинамии* в связи с утратой регуляции сверху. Расстройства распределения и приспособительной реактивности мышечного тонуса очень часто сопровождают нарушения в других, выше лежащих уровнях, но всегда свидетельствуют о втягивании в болезненный процесс рубро-спинального уровня — абсолютного монополиста по тонусу во всей центральной нервной системе. Здесь могут иметь место как гипо-, так и гипертонические синдромы, и всего чаще синдромы не столько количественного сдвига тонуса в ту или другую сторону, сколько

[1] Заметим для последующего, что типические нарушения в следующем кверху уровне синергий *В* удобно обозначать как *асинергии* и *диссинергии*, нарушения в уровне *С* — как *атаксии* и *дистаксии*, наконец, нарушения в предметном уровне *D* — как *апраксии* и *диспраксии*.

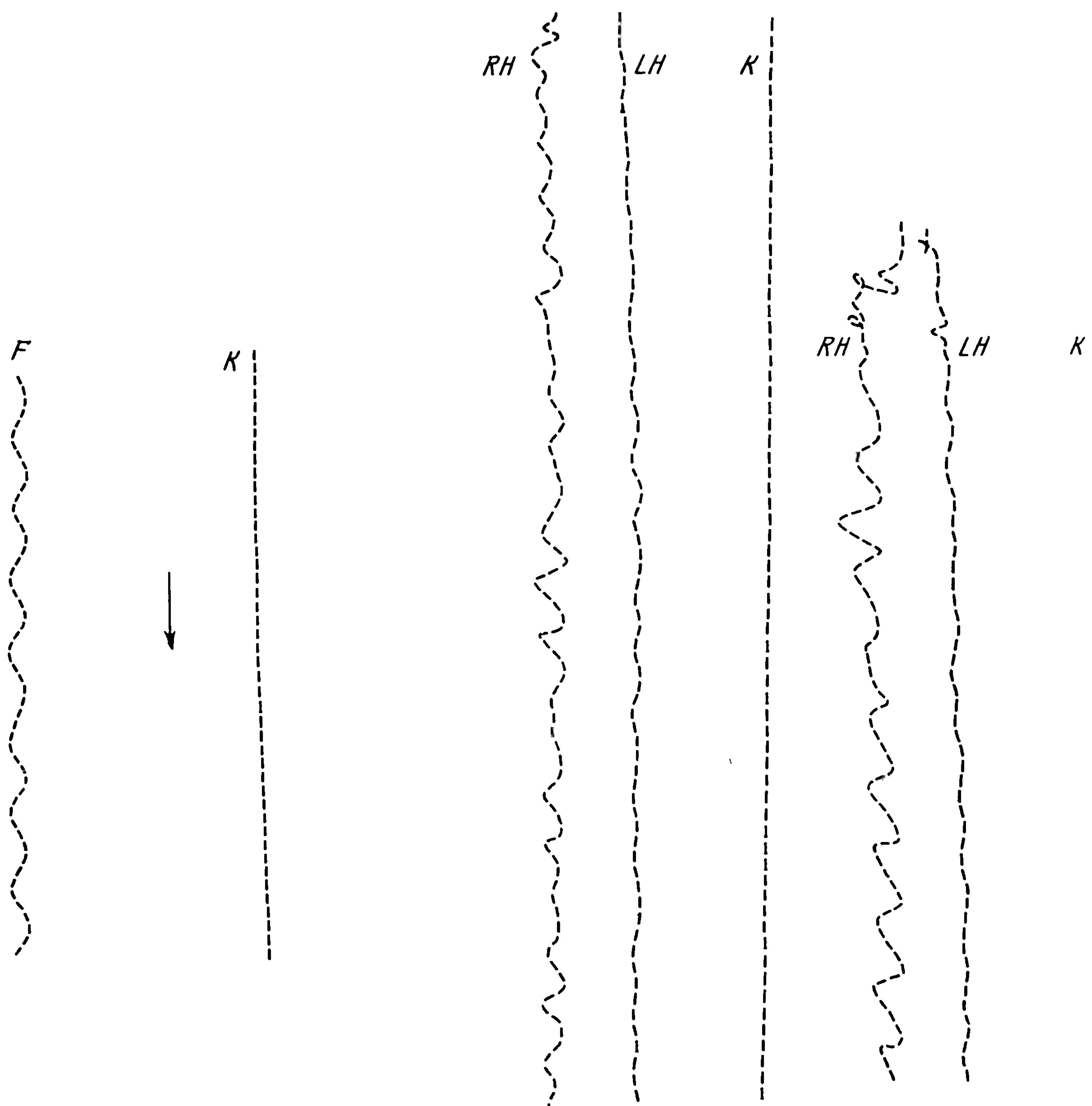


Рис. 23. Кимоциклограмма паркинсонического тремора кисти как тип самостоятельного движения в уровне *A*
Отметим чисто синусоидальный характер кривой (больная проф. М. Гуревича, работа автора, 1924 г.)

Рис. 24. Кимоциклограмма интенционного тремора обеих рук у пациента, страдающего сложным экстрапирамидным синдромом (болезнь Литтля, работа автора, 1926 г.)

нарушений его рефлекторной, приспособительной регуляции. Атаксия при спинной сухотке захватывает более высокий уровень построения *C* (см. ниже), но всегда сопрождается явлениями расстройства тонуса — гипотонии, идущими из описываемого уровня.

Следующим характерным проявлением дисфункции уровня *A* являются *треморы,* а именно обе наиболее типические разновидности треморов, фигурирующих в семиотике нервных болезней. Показателем *гиперфункции* эффекторов уровня *A* является упоминавшийся уже *тремор покоя* — неотъемлемая часть паркинсонизма, частый, но неторопливый (8—10 Гц, α-ритм, любопытным образом совпадающий с α-ритмом Бергера), ритмичный, монотонный, запечатлевающийся на циклографических снимках в виде идеально правильной синусоиды (см. рис. 23). Этот тремор может постигать и голову, и дистальные звенья всех конечностей. Во

время выполнения произвольных движений он либо скрадывается, стушевывается на их фоне, либо же и в самом деле затихает[1].

Гипофункция рубро-спинального уровня проявляется в виде значительно более интересного феномена *интенционного тремора.* Во время покоя больного тремор этот в противоположность предыдущей форме отсутствует; но достаточно больному начать какое-либо движение или даже только намереваться начать его (intentio — намерение), как тотчас же пораженная конечность впадает в состояние неправильных, суетливых, непослушных колебаний. Чем больше старается пациент затормозить свой тремор, тем сильнее он разгорается (рис. 24).

Суть интенционного тремора, легко понятная в свете излагаемой здесь теории координаций, в нарушении или полном выпадении функции реципрокной иннервации и денервации антагонистов. Если в норме эффекторный импульс, направившийся в мышцу *P*, тем самым автоматически отключает ее антагониста, мышцу *Q*, создавая гетерохронические условия на синапсах ее мононевронов, то при выпадении механизма реципрокности эффекторный процесс затекает в оба антагониста разом; затекает, разумеется, дезорганизованно, без какой-либо взаимной дозировки, вызывая этим борьбу между обоими, проявляющуюся в виде колебательных бросков конечности то в одну, то в другую сторону. Так же, как и ранее упоминавшийся симптом гипофункции уровня *A* — гипотония, — описываемый интенционный тремор, как правило, сопровождает атаксию, связанную с поражением уровня *C*; каждый невропатолог знает, как сильно он затрудняет при этом последнем синдроме выполнение пальце-носовой или пяточно-коленной пробы.

Глава четвертая

СУБКОРТИКАЛЬНЫЕ УРОВНИ ПОСТРОЕНИЯ

Уровень синергий и штампов[2], или таламо-паллидарный уровень *B*

Следующий кверху по иерархическому порядку уровень построения есть уровень синергий и штампов, иначе — таламо-паллидарный уровень, обозначаемый нами буквой *B*. Он не является строго следующим за уровнем *A* по хронологическому порядку филогенеза — это доказывается хотя бы уже тем, что уровень палеокинетических регуляций с самого начала имел, очевидно, что регулировать в виде какого-то неокинетического потока, транзитом протекающего через его субстраты, и у высших позвоночных как раз доставляемого pallidum. Таким

[1] Близость паркинсонического "Ruhetremor" с α-ритмом потенциалов мозга не ограничивается сходством частот обоих явлений, которое легко могло бы быть и случайным. Как тот, так и другой феномен: a) исчезают во время сна; b) проявляются яснее всего при полном покое; c) исчезают с началом активной деятельности; d) могут при продолжении деятельности прорываться вновь. В этом явном сродстве еще одно подтверждение палеокинетичности α-феномена. Электромиографическая картина тремора покоя — интермиттирующие ритмические залпы спайков, прямо говорящие о выше упоминавшейся периодической центральной блокировке.

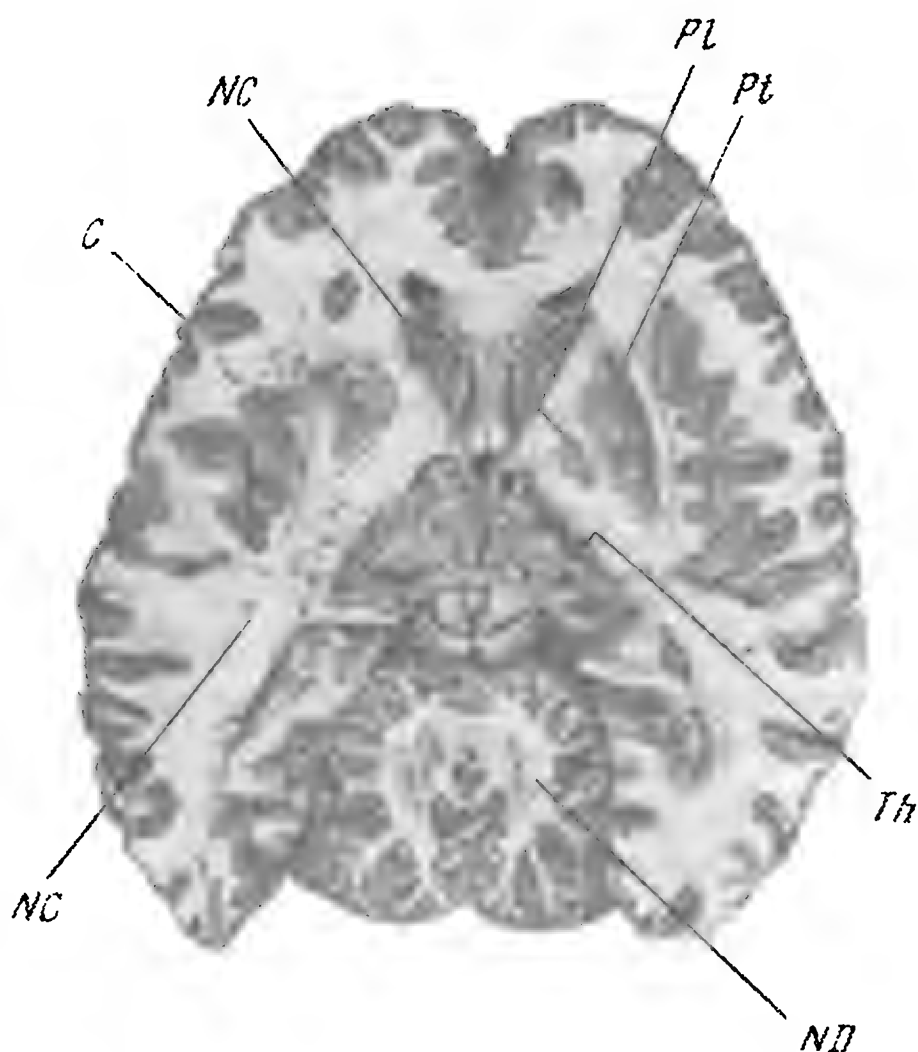
[2] В англо-американской литературе для штампов этого рода применяется название "patterns" (узоры, стандартные образцы, модели и т.п.) — слово очень меткое, но, к сожалению, не имеющее точного русского синонима.

образом, с одной стороны, *субстраты* уровня *А* у высших позвоночных филогенетически новее, нежели субстраты уровня синергий, поскольку древнейшие отправления уровня *А* сравнительно недавно обрели себе новое анатомическое обиталище в виде группы красного ядра и hypothalami, переключившись туда из глубин спинного мозга. С другой же стороны, *отправления* уровня синергий *В* филогенетически более новы. Это проявляется, во-первых, в том, что этот уровень позднее, чем *А*, достигает в филогенезе кульминационных точек своего развития; во-вторых, в том, что уровень *В* есть, так или иначе, первый во всем филогенезе настоящий неокинетический уровень, реализующий эффекторику посредством тетанических, спайковых процессов; наконец, в-третьих, в том, что самый принцип его работы новее, чем тот, который характеризует функцию уровня *А*. Если уровень *А* есть в наибольшей мере уровень *моторики туловища* и его сегментов, то уровень *В* есть уровень тела — *локомоторной мышцы,* оснащенной четырьмя конечностями-движителями.

Уровень синергий есть первый в филогенезе действительно централизующий, возглавляющий на одной из ступеней развития всю соматическую моторику. Его субстрат — древнейший в морфогенезе позвоночных настоящий головной, центральный мозг, а не только головной отрезок спинного мозга, как субстрат уровня *А*. Уровень синергий осуществляет интеграции выполняемых им процессов, чрезвычайно обширные по охвату мускулатуры; он рожден спросом на целостные локомоторные движения, хотя по ходу прогрессивной энцефализации управление ими в дальнейшем ушло от него кверху. В отношении огромных синергетических хоров, которыми он в состоянии дирижировать, этот уровень представляет собой некоторую вершину, после которой эволюция делает в известном смысле шаг назад: следующий кверху и заведомо более новый уровень *С* (см. гл. V) несравненно скупее и сдержаннее описываемого по части симультанно включаемых в движение конечностей и мышечных групп.

Анатомический субстрат уровня синергий у высших млекопитающих и человека — две пары самых крупных в головном мозгу подкорковых ядер: зрительные бугры (thalami optici) в качестве афферентационных центров и бледные тела (globi pallidi, pallida) в качестве эффекторных (рис. 25 и 25,*а*). В зрительные бугры сходятся вторые, считая от периферии тела, невроны всей проприоцептивной тангорецепторики. Сензорные пути телерецепторов обоняния, слуха и зрения ни в древнем, ни в новом филогенезе не имели прямого отношения к этому образованию.

Thalamus opticus — древнейший и когда-то, до развития коры большого мозга, высший центр всей тангорецепторики, являющийся и до настоящего времени "центральной переработочной мастерской чувственных впечатлений" (выражение Monakow.) Между зрительным бугром и pallidum имеются очень богато представленные двусторонние проводниковые связи. Pallidum есть чистый эффектор очень гомогенного микроскопического строения (см. гл. VII), являющийся средним этажом экстрапирамидной эффекторной системы. Ему иерархически подчинен нижний этаж этой системы — уже рассмотренная выше группа красного ядра; сам он подчинен другому большому подкорковому эффектору — полосатому телу (corpus striatum — образование, слагающееся из ядер nucleus caudatus и putamen). Центробежные пути из pallidum *все* оканчиваются в пределах группы красного ядра и не имеют собственных выходов к клеткам передних рогов спинного мозга.



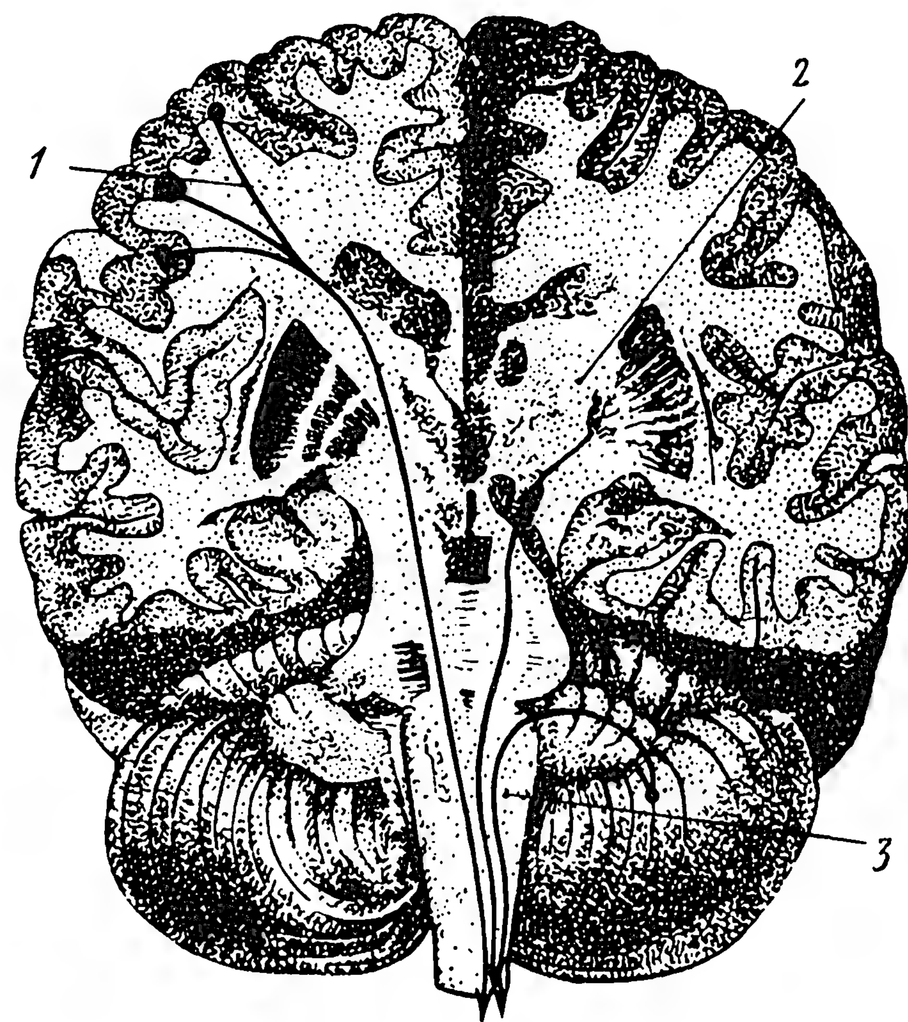


Рис. 25. Горизонтальный срез головного мозга на небольшом расстоянии от его основания
NC, NC – головная и хвостовая часть nuclei caudat; *Pt* – putamem; *Pl* – globus pallidus; *Th* – thalamus opticus; *Nd* – зубчатое ядро мозжечка; *C* — моторная зона коры полушария (из атласа E. Flatau)

Рис. 25а. Разрез головного мозга человека сверху, спереди вниз и назад
1 — схема пирамидного пути; *2* — паллидо-рубро-спинального; *3* — мозжечкового (дентато-вестибуло-спинального). Перекресты путей *2* и *3* не показаны

Характеристическая *ведущая афферентация* таламо-паллидарного уровня есть, как и для предыдущего уровня, по преимуществу проприорецепторика, но уже содержащая совершенно другие компоненты и имеющая иной стиль, нежели проприорецепторика уровня *А*. Во-первых, судя по характерным для уровня *В* движениям, здесь преобладает новая, суставно-угловая, геометрическая проприорецепторика скоростей и положений, к которой присоединяется еще обширный комплекс общей экстероцептивной чувствительности как протопатической (рецепции давления, глубинного осязания), так и эпикритической (дифференцированные осязательные рецепции прикосновения, укола, трения, болевая, вибрационная и температурная чувствительность, с присущими этими рецепциям точными "местными знаками"). Во-вторых, все эти рецепции, как чисто проприоцептивные, так и восполняющие их экстероцептивные осязательные, ведут в этом уровне построение, зашифровку и коррекцию движения, уже подвергшись предварительно значительной центральной переработке и синтезу, намного более сложному и дифференцированному, чем примитивный синтез рубро-спинального уровня. Ощутимых связей с вестибулярной системой у описываемого уровня не имеется.

Если какой-нибудь из сензорных синтезов, управляющих координацией различных уровней центральной нервной системы у человека, можно с полным правом назвать проприоцептивным, то это именно рассматриваемый синтез таламо-

паллидарного уровня. Если обобщить всю характерную для описываемого уровня афферентацию, то это окажется *афферентация собственного тела*, проприорецепторика par excellence. Тело в этом уровне построения есть и исходная система координат, к которой соотносятся рецепции и движения, и конечная цель этих рецепций и движений. Объединяясь вместе, обрастая попутно местными знаками и обобщаясь по какой-то единой для всех сигналов системе координат собственного тела, все эти бесчисленные тактильные и проприоцептивные рецепции срастаются в исключительно полную и обстоятельную информацию об его двигательном аппарате. Это налагает характерный отпечаток и на движения, выполняемые этим уровнем: это обычно движения всего тела, лишь с ним одним связанные, безотносительные к чему-либо, находящемуся вовне; движения как самоцели, корригируемые основным образом лишь по линиям своей внутренней гармонии и организованности. Они заслуживали бы по аналогии с наименованием корригирующего их сензорного синтеза названия *проприомоторных* отправлений и реакций. Зато при указанных ограничениях эти проприомоторные двигательные проявления достигают очень высокого развития и дифференциации. К ним применялось много разных названий: двигательные формулы, синергии, узоры или штампы (patterns), низшие автоматизмы и т.д.

За таламо-паллидарной системой, уже довольно давно и хорошо изученной, числятся *три важнейших координационных качества*, отличающие ее от других кинетических систем человеческого организма.

Первое из них есть приспособленность уровня *В к обширным мышечным синергиям*, т.е. способность вести высокослаженные движения всего тела, вовлекающие в согласованную работу многие десятки мышц. Очаговые поражения этой системы, как thalamus, так и pallidum, влекут за собой характерные диссинергии, т.е. выпадения подобных ансамблевых, движений, с суррогатной, викарной заменой их скованными, принужденными, неловкими движениями, наблюдаемыми, например, у паркинсоников.

Было вполне естественным с классической точки зрения делать ответственным как за эти синергии в норме, так и за их выпадения в патологических случаях pallidum как основной эффектор системы. Именно в нем, то в его цитоархитектонике, то в его проводящих путях, то даже в особенностях его биохимизма, пытались искать объяснения подобной таинственной способности, недоступной больше ни одному из эффекторов центральной нервной системы. И только излагаемая в этой книге теория координация как процесса, целиком базирующегося на принципе сензорных коррекций, повернула вопрос на 180° и устремила решающее внимание не на эффектор системы pallidum, а на ее афферентацию, и тогда очень многое стало ясным. Очевидно, pallidum способен легко, стройно и плавно вести сложные синергии обширных кинематических цепей прежде всего потому, что больше ни один эффектор нашего тела ни из вышележащих, ни из низовых этажей мозга не имеет и не может иметь такой полной и обстоятельной и притом в такой же мере из первых рук полученной информации о положениях и движениях собственного тела, как та, которую pallidum получает от системы зрительного бугра. Его координации "проприомоторны" по своему характеру и смыслу именно потому, что их ведет и корригирует главное проприоцептивное ядро центральной нервной системы, совершенно оторванное у высших млекопитающих и человека от дистантных рецепторов,

но зато централизующее в себе все то, что связано с собственным телом и его контактными ощущениями.

В гл. II уже было указано, что непослушность и трудная управляемость кинематических цепей бурно возрастает с увеличением количества степеней свободы цепи, т.е., в частности, с увеличением числа входящих в нее сочленений, вследствие того что при этом очень интенсивно возрастают и усложняются реактивные силы, сбивающие движение цепи. Имея в своем распоряжении быструю (с минимальным числом синаптических задержек) и полную афферентную сигнализацию обо всех динамических явлениях на периферии тела, таламо-паллидарный уровень имеет все возможности к своевременному парированию этих сил и к превращению кинематической цепи в управляемую систему. Огромные осложнения, привносимые реактивными силами во всякое движение, позволяют высказать в виде общего утверждения, что трудно не управление зараз тридцатью мышцами, а трудно управление зараз тремя сочленениями одной цепи. Понятно, что уровень синергий, всегда будучи в состоянии на ходу решать более трудную часть задачи — преодоление реактивных сил и симультанное управление многозвенными маятниками конечностей, попутно уже с легкостью разрешает и более простую часть той же задачи — управление десятками протагонистов, антагонистов и синергетов.

Второе координационное качество, характеризующее стиль работы уровня *В*, есть способность столь же стройно и *налаженно вести движение во времени*, обеспечивать правильные чередования, например, перекрестные чередования движений всех конечностей при локомоциях, объединять в общем ритме, соблюдаемом с точностью до миллисекунд, движения многозвенных маятников конечностей, имеющих очень многообразные и сложные спектры собственных частот колебаний, и т.д. Это качество стоит, очевидно, в самом тесном родстве с первым. Следует добавить только, что и смысловая сторона движений уровня *В*, направленных на собственное тело и безотносительных к внешнему миру, и естественно напрашивающаяся для них (в силу строения наших конечностей) периодическая, повторительная форма приводят к заметной склонности уровня синергий к ритмическим, качательным, повторным движениям с очень разнообразными и сложными, но точно воспроизводимыми от раза к разу ритмовыми узорами (см. ниже рис. 29—31). Вполне естественно, что среди движений, направленных на достижение какой-либо внешней цели (определенной точки внешнего пространства, прикосновения к внешнему объекту и т.д.), будет гораздо больший процент таких, в которых по достижении цели концевое реле центральной нервной системы срабатывает на остановку, нежели среди самодовлеющих движений, связанных только с собственным телом. Здесь, наоборот, за отсутствием смыслового, внешнего конца и при наличии множества кинематических и эластических предрасположений к возвратным движениям очень легко могут появляться замыкания концевых реле на обратный ход. И в области ритмического построения описываемый уровень обладает высокорасчлененной и совершенной техникой, превосходя в этом отношении все другие уровни построения.

Сказанное выше о концевых переключениях должно, как нам кажется, уяснить вопрос о природе ритмических и циклических движений вообще. Очевидно, ни один какой-либо уровень построения не может иметь основания к монополизму по части ритмических и циклических движений, и ни одно движение

(за исключением, может быть, только элементарнейших треморов и вынужденных упругих колебаний из уровня *А*) не обладает обязательной, имманентной цикличностью, свойственной самому его моторному существу. Цикличность может встречаться и встречается в действительности на каждом из уровней, ритмичность — тоже, и решение альтернативы, потечет ли движение по пути возвратов и повторений или исчерпается как однократное, *зависит не от его двигательной структуры, а только от его смыслового содержания*: в одних движениях преобладают мотивы к однократности, в других — к повторительности. Другое дело, что в разных уровнях и повторительные реле срабатывают по-разному, и ритмико-циклические качества в них получаются различными. Каждый уровень оформляет движения в своем особом ладу и тональности.

При выполнении фоновых компонент для движений вышележащих уровней уровень синергий точно так же большей частью берет на себя ритмические последования. Более того: он каким-то не вполне понятным путем создает и вносит внутренний, проприомоторный ритм в движения вышележащего уровня, ни смысловая задача которых, ни создаваемые ими сигнальные или пусковые афферентации не содержат в себе никаких предпосылок к ритму и повторности: например, в локомоции как перемещения всего тела к какой-то более или менее отдаленной пространственной цели. При некоторых формах поражений уровня синергий этот механизм перешифровки задачи непериодического перемещения в форму ритмического шагания оказывается нарушенным, и тогда получаются своеобразные случаи, когда пациент не в состоянии ступить ни одного шага по гладкому полу, но быстро и бойко шагает по лестнице, зрительное восприятие ступенек которой викарно замешает ему утерянный внутренний механизм, ритмизирующий внешнее апериодическое пространство.

Наконец, третье свойство рассматриваемого уровня, заслуживающее упоминания, — это очень ярко бросающаяся в глаза наклонность его к *штампам*, к чеканной повторяемости движений, все равно, ритмических или однократных, но похожих друг на друга, как две монеты. И это хорошо известное невропологам свойство пытались объяснять какими-то особыми (впрочем, еще вполне гипотетичными) качествами pallidum как эффектора, тогда как фактически и здесь дело обстоит совершенно иначе.

Прежде всего необходимо напомнить, что внешние, а особенно реактивные силы при циклических движениях отнюдь не повторяются стереотипно от разу к разу. Наоборот, поскольку единый ритм вынужденного повторительного движения многозвенного маятника конечности необходимым образом не совпадает с большинством разнообразных собственных частот его составных элементов, постольку реактивные силы обязательно будут создавать с экзогенной частотой, сообщаемой звеньям через мышцы, очень сложные и изменчивые динамические интерференции. А это значит, что движения подобного многозвенного маятника смогут быть одинаковыми от раза к разу только в том случае, если активные мышечные динамические добавки будут приспособительно заметно отличаться друг от друга в последовательных циклах. Уровню синергий нужно все богатство и совершенство его таламических афферентаций, чтобы гибко лавировать между всеми этими реактивными силами и превращать их динамическую неурядицу в штампованный узор. Не будучи достаточно привычными к механике, невропатологи и не подозревают той огромной черновой работы, которая выпадает при этом на долю

уровня *B* и молча, терпеливо выполняется им в субкортикальных трюмах мозга. Таким образом, менее всего приходится представлять себе pallidum в виде какого-то склада клише, которое он включает по требованию, точно очередные патефонные пластинки. Его движения только потому и могут быть столь стереотипными, что он сам совсем не стереотипен.

Действительные причины склонности уровня синергий к штампам вскрываются при более глубоком анализе физиологических и биодинамических закономерностей его движений. Откладывая детальный анализ этого вопроса до гл. VIII, заметим пока, что по ходу выработки двигательного навыка совершается, как правило, ряд значительных качественных изменений в самых принципах управления осваиваемым движением. Для большинства крупных, глобальных движений, к которым преимущественно принадлежат отправления описываемого уровня, а также для быстрых ритмических или однократных движений со значительными амплитудами возникающих при них инерционных сил могут быть найдены такие формы, при которых каждое отклонение движения от правильной траектории вызывает появление реактивных сил, стремящихся вернуть звено на его прежний путь. Если организму удается найти такие структуры движения, которые в какой-то мере удовлетворяют этому определению так называемых *динамически устойчивых движений*[1], то ему уже не только не приходится активно парировать сбивающие реактивные силы фазическими тетаническими залпами (как на более ранних стадиях выработки навыка), но, наоборот, он обретает возможность прямо использовать их к своей всесторонней выгоде. Как показывают точные циклограмметрические анализы, это приводит к двум результатам. Прежде всего, снятие активных усилий, затрачивавшихся на гашение реактивностей, уже само по себе создает заметную экономию как чисто энергетическую, так и иннервационную, поскольку движение в соответствующих своих отрезках начинает течь само собой, не нуждаясь более в пристальном контроле и коррекции. А затем подобные динамически устойчивые формы — это, очевидно, формы, наиболее согласующиеся со строением кинематических цепей тела, а потому и наиболее экономичные сами по себе. Действительно, достижение такой стадии развития сопровождается одновременно и уменьшением количества силовых волн в циклограмметрических динамических кривых, и заметным снижением их амплитуд, т.е. существенным увеличением коэффициента полезного действия.

Ясно, что для каждой данной двигательной задачи не может существовать много подобных решений. Их, действительно, имеется либо по одному-единственному, либо, в лучшем случае, единицы на каждую задачу. По понятным причинам движения, близкие по форме к динамически устойчивым, но сами не являющиеся таковыми, будут насильственно загоняемы реактивными силами в траектории устойчивых движений. Это делает динамически устойчивые решения дискретными, разделенными между собой полями неустойчивых саморазрушающих форм, к тому же, вследствие своей трудной повторяемости, мало доступных заучиванию. Таким путем создается дивергенция устойчивых форм или стилей движения как при сознательной тренировке взрослых, так и при развитии у ребенка, например, ходьбы и бега, вначале взаимно неотличимых. Выработка и закрепление таких

[1] В гл. VIII дается более подробная характеристика явления динамической устойчивости и приводится ряд биодинамических примеров движений этого рода.

динамически устойчивых форм движений, автоматически отливающихся в небольшое разнообразие дискретных штампов, и приводят к образованию стойких рисунков или формул движения, характерных для таламо-паллидарного уровня. Суть дела здесь не в эффекторных стереотипах, в которых раньше усматривалась разгадка паллидарных штампов и внутренняя противоречивость которых вскрыта выше. Действительная причина в том, что для огромных, сложных и гармоничных синергий, какими являются, в частности, локомоции, возможны и выполнимы лишь крайне немногие двигательные решения задачи об увязке между собой фактической внешней цели движения, кинетической структуры двигательного аппарата и возникающей из их столкновения реактивной динамики.

При всем исключительном совершенстве афферентаций и богатстве координационных возможностей уровня синергий он сохранил у человека очень мало *самостоятельных, ведущихся на нем движений.* На первом месте среди них следует поставить "триаду": движения *выразительной мимики, пантомимы и пластики*, т.е. совокупность не символических, а непосредственно эмоциональных движений лица, конечностей и всего тела. В очень большой мере сюда относятся, далее, движения хореографические — не столько западного, локомоторного, сколько восточного, пластического танца. В целом двигательный акт танца строится выше рассматриваемого уровня, как и все вообще движения с экзогенным ритмом. Уровень синергий при его бедных связях с телерецепторикой не приспособлен к использованию ни зрительного, ни слухового контроля и управления.

Почти не выходя за пределы характеризуемого уровня, протекают многие из движений *вольной бесснарядовой гимнастики*: наклоны корпуса, изгибы, откидывания тела, разнообразные пластико-ритмические движения. Наконец, сюда же отойдет группа полунепроизвольных движений — потягивания всем телом, расправления членов, движений ласкания (объятия, поцелуи и т.п.), привычных монотонно-машинальных движений и т.п. Все движения этого рода плавны, гармоничны, обладают грацией даже у неграциозных людей. Если они ритмичны и повторны, то уже не по примитивной формуле синусоиды (как в уровне *A*), а по более замысловатым и разнообразным штампам (см. ниже рис. 29—31).

Процентное содержание самостоятельных движений этого уровня значительно выше в моторном инвентаре малых грудных детей, о чем будет речь в гл. VII. Из них заслуживает упоминания предшествующий развитию ходьбы билатеральный чередовательный рефлекс "шагания" (stepping) — ритмических дрыганий ножками при лежании на спине, свидетельствующий о принадлежности к уровню синергий у человека важнейших фонов ходьбы, еще у хищных млекопитающих локализующихся не выше спинного мозга.

Для уяснения причин такой неожиданной бедности контингентов самостоятельных движений, ведущихся на уровне *B* у человека, необходимо указать, чего не хватает этому уровню для возможности самостоятельного выполнения большего количества движений. Как мы видели, слабая сторона уровня синергий заключается отнюдь не в однообразии или примитивности доступных ему движений: наоборот, это есть уровень "владения своим телом", способный находить и осуществлять огромное количество сложных рисунков движения, разнообразных и по конфигурации и по ритму и обладающих недосягаемой для других уровней степенью слаженности. Далее, именно этот уровень благодаря своей особенно интимной и разносторонней связи с проприцептивной афферентацией



Рис. 26. Моментальный снимок позы при фигурном катании на коньках как характерный пример обширной синергии в уровне *B* (воспроизведено из журнала "Физкультура и спорт", 1936 г.)

больше всех других приспособлен к обузданию реактивных сил и к созданию экономичных траекторий "динамически устойчивого" типа. Очень возможно, что и на обширнейшие синергии мышц он отваживается именно поэтому. Реальность синергий pallidi не в том, конечно, что он, как думают иные неврологи, умеет посылать какие-то особо сложные и искусные эффекторные импульсы, а в том, что его совершенно исключительная афферентация обеспечивает безукоризненную управляемость периферии. *Слабость уровня синергий не в качестве или недостаточном богатстве его афферентаций, а в их односторонности.* Ему не хватает дистантных рецепторов и их синтеза, ведущего к овладению внешним пространством. Его система координат привязана не к окружающему эвклидову пространству — обширному, несдвигаемому и апериодическому, — а к собственному телу. Это уровень слишком интравертирован. Он не годится ни в штурманы, ни в пилоты движения; он — его призванный бортмеханик.

Фоновая роль уровня синергий огромна и не уступает по своему значению роли уровня *A*. Будучи не в состоянии из-за отрыва от телерецепторов и слабости связей с вестибулярной системой и мозжечком вести много самостоятельных движений, уровень синергий с готовностью берет на себя всю внутреннюю черновую технику сложного движения, если другой вышележащий и более экстравертированный уровень обеспечивает его приспособление к внешнему миру и внешним предметам. Таким путем уровень *B* обеспечивает всю внутреннюю координационную подкладку локомоторных движений — ходьбы, бега и т.д., полностью оформляя всю кинетику этих гигантских синергий, но, так сказать, в отвлеченном виде, вне конкретной обстановки. Ходьба должна совершаться куда-то, по какой-то поверхности, мимо каких-то препятствий, по неровностям, ступенькам, поворотам и т.п.; все это — вещи и мотивы, недоступные афферентации данного уровня. Именно поэтому поражения striati влекут за собой распад ходьбы, хотя вся ее мышечная динамика реализуется таламо-паллидарной системой: выключение striati лишает ходьбу необходимого ей пилотажа, обрекая ее на холостой ход. Зато при интактности следующего кверху уровня пространственного поля *C* штампы и синергии разбираемого уровня обеспечивают протекание всевозможных движений уровня *C*: локомоций, перемещений и переносов, баллистических движений, метких подражательных и многих иных движений, о чем речь будет в следующей главе (рис. 26; рис. 27, *не помещен. — Примеч. ред.*).

Вряд ли без фонового участия уровня синергий были бы мыслимы и многочисленные целевые двигательные акты, относящиеся к уровням выше *C*. Уровень синергий может участвовать в этих сложных движениях двояко: 1) или он уже

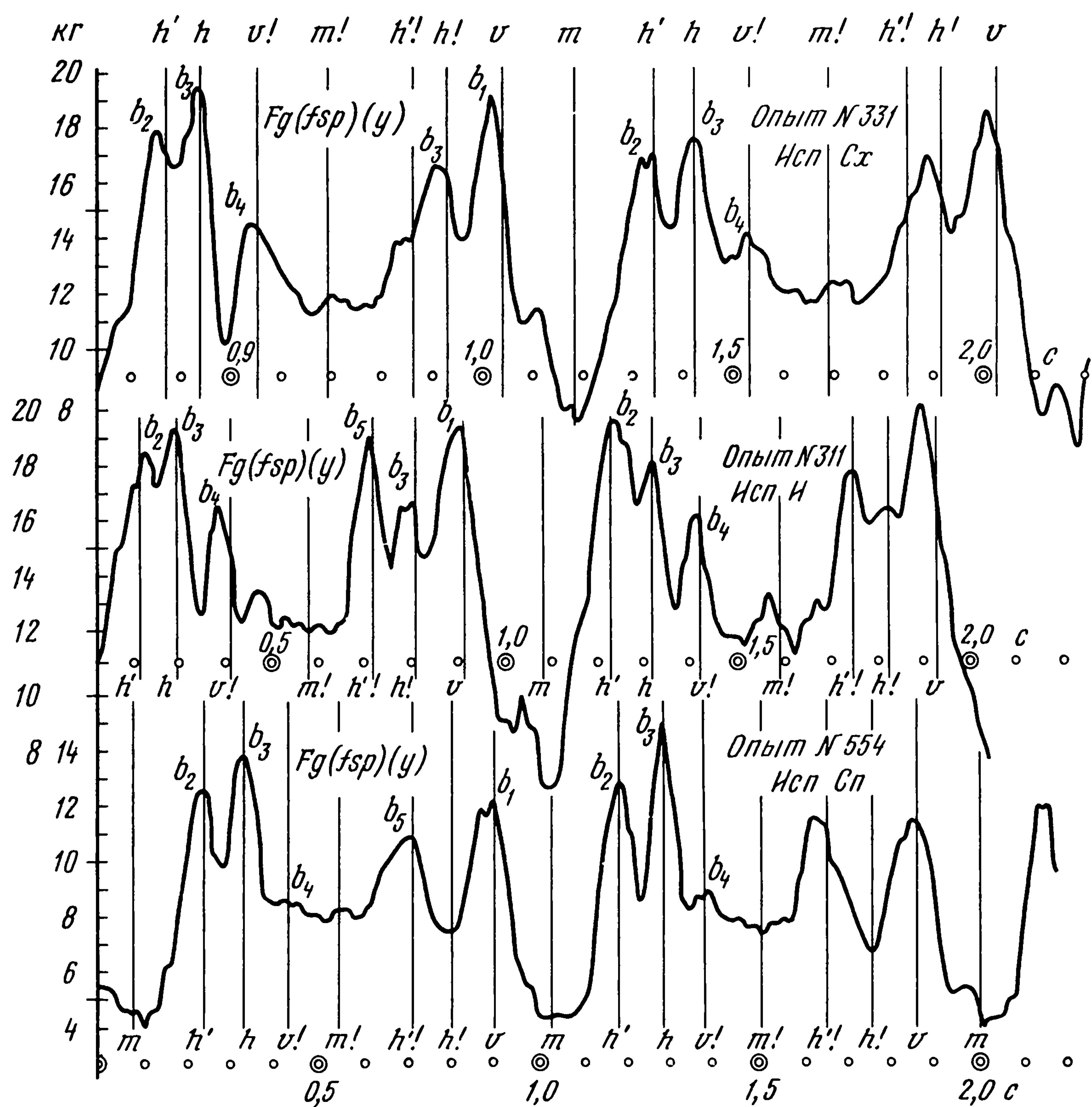
Рис. 29. Кимоциклограмма движений рук при опиловке как тип характерной фоновой синергии в уровне *В*

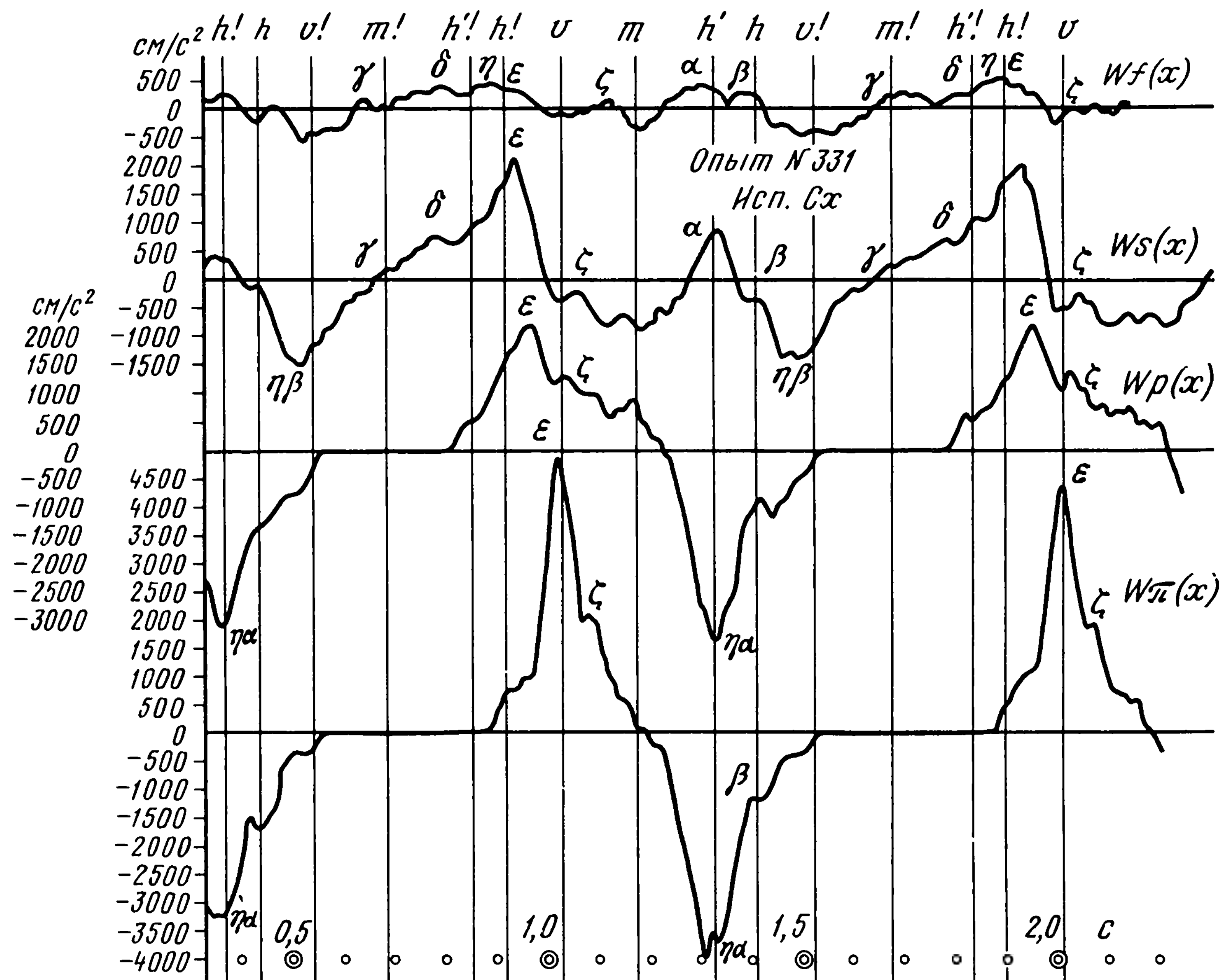
Отметим чрезвычайную ритмичность и повторяемость узора движения при значительно большей сложности его контуров по сравнению с синусоидальными треморами в уровне *А* (работа автора, 1924 г.)

Рис. 30. Сложные ритмические синергетические силовые узоры (patterns) при нормальной ходьбе человека

Наверху — кривые вертикальной слагающей усилий в центрах тяжести правой и левой ноги, наложенные друг на друга. *Посредине* — вертикальная слагающая усилий в общем центре тяжести обеих ног. *Внизу* — вертикальная слагающая усилий в общем центре тяжести всего тела (работа автора, ВИЭМ, 1935 г.)

упомянутым образом подкрепляет локомоцию в уровне *С*, а она в свою очередь обеспечивает технический фон для движения более высокого уровня построения — игры в теннис или футбол, работы сцепщика поездов или сталепрокатчика, движений военной атаки и т.п. (рис. 28, *не помещен. — Примеч. ред.*); 2) или же он непосредственно создает те или иные фоновые компоненты для одного из высших уровней. Очень выразительным примером этого варианта взаимоотношений может послужить скоропись, т.е. автоматизированное письмо, более детальный анализ которого будет помещен ниже (см. гл. VIII). **В** этом акте очень ярко видны два одновременно работающих и в равной мере необходимых уровня (фактически в акте письма их больше), один из которых является ведущим, другой — техни-


кг
Fg(fsp)(y)
Опыт N 331
Исп Cx
Fg(fsp)(y)
Опыт N 311
Исп И
Fg(fsp)(y)
Опыт N 554
Исп Сп
0,5
1,0
1,5
2,0 с


см/с²
Wf(x)
Опыт N 331
Исп. Cx
Ws(x)
Wp(x)
Wπ(x)
0,5
1,0
1,5
2,0
с

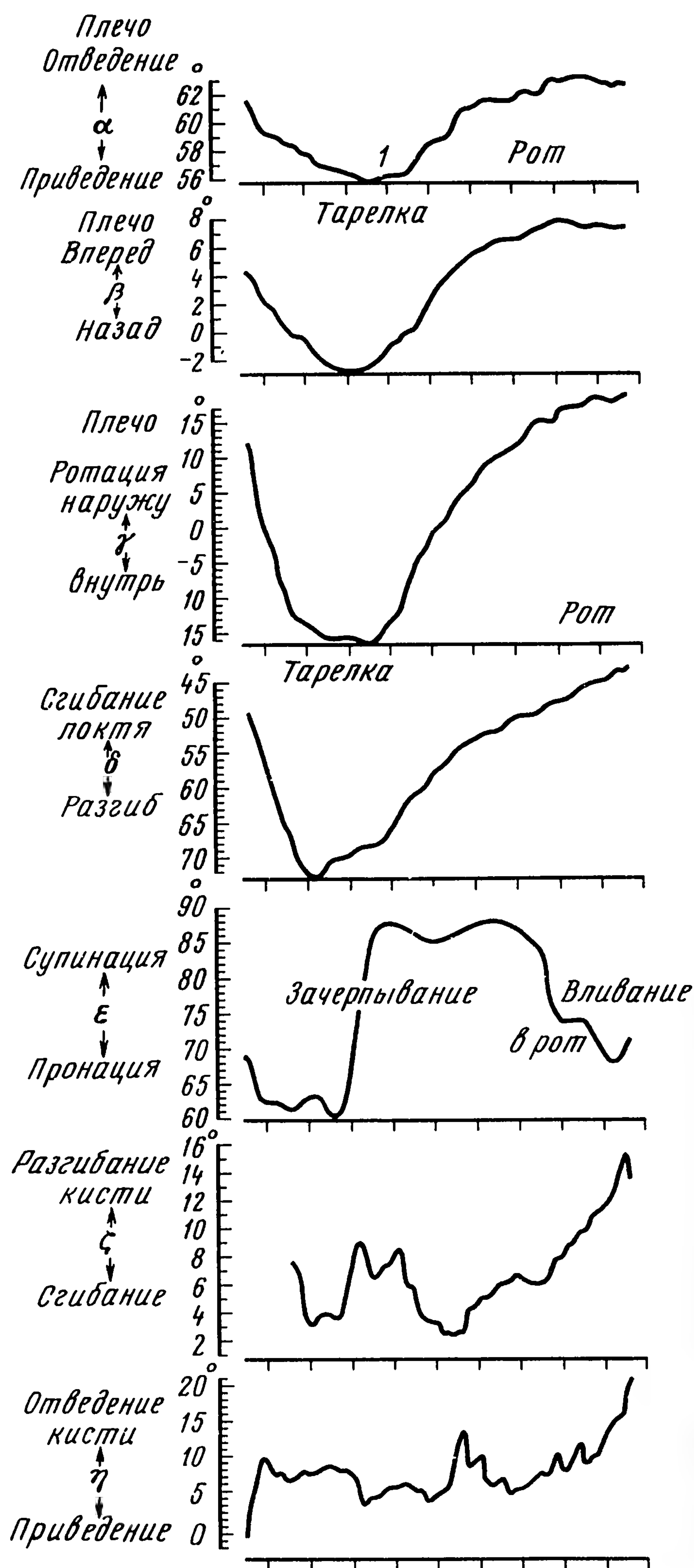


Рис. 32. Кривые изменения углов руки при автоматизированном движении хлебания ложкой
Сверху вниз: α — угол приведения—отведения плеча, β — угол сгибания—разгибания плеча, γ — угол ротации плеча, δ — локтевой угол, ε — угол просупинации, ζ — угол сгибания и разгибания кисти в запястье, η — угол приведения и отведения кисти. В движении отчетливо видна (фоновая) синергия первых четырех степеней свободы (α, β, γ, δ), дающих почти одинаковые между собой по форме кривые, несмотря на большое разнообразие и взаимную независимость управляющих ими мышц. Степени свободы ε и ζ дают на протяжении первой трети движения свою отдельную прямую, на протяжении остальной части движений — обратную синергию (работа О. Зальцгебер и автора, Московское научно-исследовательское бюро протезирования, 1939 г.).

Рис. 33. Моментальный снимок руки при атетозе (по Monakow, из руководства L. Mohr und R. Staehelin)



Рис. 31. *Наверху* — кривые вертикальной слагающей усилий в центре тяжести всей ноги при нормальной ходьбе человека (у трех разных испытуемых). *Внизу* — кривые продольных ускорений в основных пунктах ноги при нормальной ходьбе (сверху вниз): тазобедренное сочленение, коленное сочленение, голеностопное сочленение и кончик стопы. Кривые приводятся как образчик сложных ритмических силовых узоров, обеспечиваемых уровнем синергий (работа автора, ВИЭМ, 1935 г.)

ческим и подчиненным. Подчиненный уровень *B* дает в этом акте колебательную синергию предплечья, кисти и пальцев, обычно текущую с явственным ритмом и хорошо проступающую при вступительных раскачках руки вхолостую, применяемых многими любителями своего почерка. Более высокие уровни *D* и *E* (см. гл. VI) накладывают на эти монотонные ритмические колыхания свои смысловые изменения, превращают их в ациклические и вяжут из них буквы и слова. Используя образ из области радиотехники, можно очень точно сказать, что смысловой уровень *E* модулирует колебания, задаваемые (неграмотным) уровнем синергий, подобно тому, как звуки речи, подаваемые в микрофон, модулируют монотонные высокочастотные колебания, генерируемые передатчиком, превращая их в ациклические и наделяя значением и смыслом.

В этом же варианте — модулирования монотонных синергий уровня *B* более высокими уровнями — протекает и большое количество трудовых и производственных движений, особенно из числа высокоавтоматизированных циклических процессов (рис. 29—32), о чем уместнее будет говорить при характеристике их ведущих уровней.

Очень существенна роль синергий таламо-паллидарного уровня *в автоматизации двигательных навыков.* Автоматизация возможна в самых разнообразных уровнях и сводится к передаче ряда технических координационных компонент двигательного акта в нижележащие, не сознаваемые в данный момент уровни (как указывалось, осознается всегда только ведущий уровень совершаемого движения, какова бы ни была его абсолютная высота). Очень выразительны и часты случаи автоматизации, связанные с переключениями компонент на уровень синергий. При этом либо в уровне *B* постепенно вырабатываются по мотивам и побуждениям ведущего уровня новые двигательные комбинации, новые синергии, которые и замещают собой первоначальные временные координационные построения на ведущем уровне данного движения; либо же, может быть, вырабатывается в иных случаях и умение использовать уже имеющиеся готовые автоматизмы из богатых фондов этого уровня.

В *патологических случаях* резко различные между собой картины возникают: 1) при гипофункции (или выпадении) и 2) при гиперфункции данного уровня, обусловливаемой, как правило, выпадением верхнего экстрапирамидного этажа и осуществляемой им регуляции функций таламо-паллидарного уровня. Выпадение уровня *B* дает симптомокомплекс паркинсонизма, складывающийся из выключения отправлений самого уровня синергий и из снятия его контроля над уровнем *A*, впадающим вследствие этого в состояние перевозбуждения (гипердинамии). При этом синдроме исчезают или резко убывают все те моторные проявления, которые представляют собой и самостоятельные, и фоновые двигательные отправления уровня *B*. За счет выпадения "триады" получается амимия, скованность позы, скудость жестов, отсутствие выразительных движения (см. рис. 20); подтверждая теоретические воззрения James и Lange, беднеет в связи с этим и субъективная эмоциональная жизнь больного. Резко уменьшается количество автоматизмов. Выпадение фоновых синергий дает себя знать в деавтоматизации как ходьбы, так и всевозможных предметных навыков: исчезновение упоминавшихся уже специфических для этого уровня механизмов ритмизирующей перешифровки в свою очередь разрушает многие автоматизированные акты и, кроме того, способствует развитию персевераций, о которых будет сказано дальше. Растормажива-

ние нижележащего уровня *A* приводит при этом к развитию общей ригидной гипертонии и треморов покоя.

Для каждого уровня построения, как это будет подробнее показано в гл. IX, характерны свои особые виды *персеверации*, т.е. невозможности по произволу прекратить раз начатое движение или ритмический процесс, изменить принятую позу и т.д. На уровне *A* такие персеверации обнаруживают себя в виде восковой, каталептоидной гибкости, застывания позы и т.д. На уровне синергий персеверации характернее всего проявляются в виде ослабления пусковых и останавливающих механизмов — тех самых начальных и концевых "реле", о которых выше уже была речь. В результате получается резкий паралич инициативы: затруднительность начать идти, не меньшая трудность остановиться, если уже пошел, и т.д. Если такого больного толкнуть назад или вбок, он пойдет задом или боком, испытывая большие затруднения, чтобы остановиться (так называемая ретропульсия и латеропульсия).

Патологическая гиперфункция уровня синергий сказывается в возникновении разнообразных гиперкинезов, избыточных синергий и синкинезий (под последними мы будем подразумевать совместные движения бесполезного, патологического характера). На первый план проступают непроизвольные рудиментарные движения, например, совокупность движений так называемого атетозного синдрома Foerster: фиксации, обхватывающие движения, хваточно-держательные жесты, реактивно-выразительные движения без цели и смысла, движения типа ползания и лазания. Вся совокупность нарушений этой группы заслуживает названия *гиперкинетической диссинергии* (рис. 33; рис. 34—36, *не помещены. — Примеч. ред.*).

Возникающая в результате тех или иных растормаживающих болезненных процессов гиперфункция уровня *B* как бы распахивает двери филогенетического зверинца, глубоко затаенного в норме. И тогда из глубин моторики вылезают уродливые, гротескные фоны без фигур и передних планов, без смысла и адекватности: всяческие торзионные спазмы, обломки древних движений, атетозы, хореи, непроизвольные рычания и вскрикивания — психомоторные химеры, безумие эффекторики.

Глава пятая

КОРТИКАЛЬНЫЕ УРОВНИ ПОСТРОЕНИЯ

Пирамидно-стриальный уровень пространственного поля *C*

Уровень пространственного поля, как мы его называем по его наиболее характерной черте, — он же пирамидно-стриальный уровень *C* — представляет собой очень сложный и, по-видимому, далеко не вдруг оформившийся объект. Насколько сейчас возможно судить, это скорее всего не один, а нечто вроде двух раздельных уровней, один из которых в какой-то мере подчинен другому. Это утверждение подкрепляется и тем, что анатомические приборы, обеспечивающие его работу, имеют далеко не одинаковый филогенетический возраст. Однако бесспорно, что это не два самостоятельных, независимых образования; их функциональная слитность заставляет описывать этот уровень как нечто целое,

только со ссылками там, где это необходимо, на подуровни *C1* и *C2*. Уровень *C* представляет несомненный интерес и для психолога ярко выразившейся в нем той формой афферентной сигнализации, которая получила выше (см. гл. II) обозначение сензорного синтеза или сензорного поля, и для физиолога и невропатолога своей слитной двойственностью и тем, что составляет характерную особенность его координационных отправлений: вариативностью и пластичностью[1].

Сложная структура уровня пространственного поля проявляется прежде всего в том, что он имеет два выхода на эффекторную периферию: и пирамидный, и экстрапирамидный. Проводимое классической неврологией противополагающее разделение всей моторики на пирамидную и экстрапирамидную не совпадает своими границами с водоразделом между описываемыми в этой книге уровнями построения, пролегающим более или менее точно между striatum и pallidum. Грань между пирамидной и стриальной (экстрапирамидной) системами не стерта, однако, в функции уровня *C* и проявляет себя в разделении двух вышеназванных подуровней, отличающихся один от другого и по оттенкам структуры их сензорных полей, и по контингентам реализуемых ими движений, и по филогенетическим биографиям обоих.

Уровень *C* резко отличается от предыдущего уровня синергий как по ведущей афферентации, так и по смысловому содержанию свойственных ему движений и целому ряду их внешних характеристик. Ведущая афферентация этого уровня есть *синтетическое пространственное поле.*

Выше уже говорилось о том, что для высокоорганизованных уровней построения не приходится понимать под афферентацией первичную, сырую рецепторику. Уже при описании уровня синергий мы имели случай упомянуть о том, что его ведущая афферентация формируется в результате синтетической переработки первичного сензорного материала в системе подкорковых ядер. Афферентации позы, реактивной динамики, угловых скоростей звеньев и систем тела представляют собой синтезы первичных проприо- и тангорецептивных ощущений, обросшие отметками местных знаков и упорядоченные в какой-то единой для всего тела системе координат. Значительно более синтетична, обобщена и, главное, объективирована афферентация уровня пространственного поля *C*. В ее состав мощной струей вливается кортикальная слагающая, правда, пока еще в виде самых периферийных полей коры, ее "входных и выходных ворот", по выражению Monakow. Ее *первичные* сензорные станции в коре больших полушарий таковы: зрительные поля (area striata, 17 и 18 Brodmann), осязательно-проприоцептивные (заднецентральная извилина, Brodmann), видимо, в какой-то мере слуховые и вестибулярные. Наконец, к афферентационным субстратам этого уровня принадлежит и кора полушарий нового мозжечка (neocerebelli). Итак, тангорецепторика фигурирует в составе синтетической уровневой афферентации уже второй раз, участвовав перед этим в образовании сензорного синтеза уровня синергий. Здесь она появляется сильно преображенной, пройдя в зрительных буграх сложную предва-

[1] Очень напрашивается предположение, что указанная двойственность субстратов уровня *C* у человека обусловливается переживаемым им в настоящее время *энцефализационным переходом* из экстрапирамидной системы в пирамидную. Конечно, этот процесс протекает настолько медленно, что его невозможно непосредственно заметить; но, видимо, через соответственное количество тысячелетий этот уровень, у птиц и низших млекопитающих еще полностью стриальный, окончательно переключится у человека в кору полушарий.

рительную переработку и отсев и включив в свой маршрут еще один добавочный неврон. Этот сензорный полусырой материал неразрывно срастается со следами, сохраненными памятью, и изо всей переименованной совокупности индивидуально и прижизненно конструируется нерасчленимый синтез "пространственного поля" — образования, хорошо известного психологам в процессах упорядоченного восприятия, но гораздо менее знакомого неврофизиологам в роли ведущей эффекторно-координационной формации.

Поле пространства, в котором организуются движения животного, разумеется, филогенетически гораздо древнее, нежели полукортикальный уровень *C*. Не лишено интереса проследить его постепенную эволюцию, в известной мере одномоментно отраженную в нервных системах высших позвоночных. Элементы организации пространства имеются уже в самом низовом уровне *A*, где она проявляется в виде примитивных тропизмов тяготения, выступая как почти беспримесная полярность верха и низа. В таком именно виде мы встречаемся с пространством как координационным фактором и у насквозь палеокинетических бесскелетных беспозвоночных, где поля тяготения определяет и стойко выдерживаемое расположение тела в пространстве, и распределение мышечного тонуса (Uexcüll). В первом неокинетическом, централизующем уровне *B* пространство проявляет себя в виде системы координат собственного тела, обобщенной в единой системе местных знаков, но еще не спроицированной на внешнее дистантное окружение. Переход к уровню *C* знаменует собой скачок к содержанию, несравненно более сложному и отвлеченному от первичной рецепторики[1].

Пространственное поле уровня *C* не есть ни ощущение, ни их сумма. Пока оно формируется, в нем участвуют и зрительные ощущения, и глазодвигательные ощущения, связанные с аккомодацией и стереоскопическим зрением, и осязательные ощущения с их местными знаками, и проприоцепторика всего тела, возглавленная вестибулярными ощущениями тяготения и ускорений, и, несомненно, бесчисленные осколки с других рецепторных систем. В нем возможны многочисленные компенсации и викарные взаимозамены, так как, например, слепорожденные вырабатывают себе без помощи зрения афферентационное поле, настолько сходное с пространственным полем зрячих, что ни в области геометрических представлений, ни в области пространственной моторики не впадают со зрячими почти ни в какие противоречия. Когда это поле создалось и выработалось, оно уже настолько абстрагируется от первичных рецепций, лежащих в его основе, что уловить в нем их следы становится невозможным самому пристальному самонаблюдению.

Самый замечательный по резкому отличию от афферентации предыдущего уровня признак пространственного поля — это его *объективность*. Оформившиеся пространственное поле полностью соотнесено с внешним миром и освобождено от той неотрывной связи с собственным телом, которая так сковывает и обесценивает пространственный синтез уровня синергий. Далее, пространственное поле уровня *C обширно, несдвигаемо и гомогенно. Обширность* во многом обеспечивается участием телерецепторов в его построении; однако это поле обладает теми же свойствами и у слепорожденных, использующих для его форми-

[1] Эволюция пространственного синтеза в вышележащем уровне *D* обрисована в гл. VI.

рования *локомоцию* в сочетании с активным осязанием (пальпаций). Лишенная обоих главных телерецепторов Helen Keller могла изучить геометрию, понимала и любила скульптуру, в своих литературных работах выражалась о пространстве как зрячая. Еще важнее для объективации пространственного поля прочно связанное с ним ощущение его *несдвигаемости.* Когда мы ходим, поднимаемся на лестницу, поворачиваемся кругом себя, мы не только знаем, но и ощущаем со всей наглядностью и непосредственностью, что перемещаемся мы, в то время как пространство с наполняющими его предметами неподвижно, хотя все рецепторы говорят нам об обратном[1]. Если можно так выразиться, каждый субъект еще с раннего детства преодолевает для себя эгоцентрическую, птоломеевскую систему мировосприятия, заменяя ее коперниканской.

Далее, пространственное поле *гомогенно и апериодично*, т.е. однородно во всех своих частях и не содержит в себе никаких элементов чередования или циклической повторяемости, которых так много в координатной системе собственного тела, на уровне синергий[2].

Следующими важнейшими свойствами пространственного поля являются его *метричность и геометричность.* Оно включает в себя точную и взыскательную оценку протяжений, размеров и форм, входящих в качестве существенных признаков также и в движения, выполняемые на этом уровне: это *область точности и меткости.* Геометричность пространственного поля характеризует в наибольшей мере верхний, кортикальный подуровень *C2*, проявляясь в соблюдении геометрической формы и геометрического подобия. Наделенное всеми перечисленными свойствами пространственное поле уровня *C* представляет собой самое объективное из "пространств", сопряженных с последовательными уровнями построения; дальше кверху, в уровне действий (см. гл. VI), оно эволюционирует в сторону схематизации и, выигрывая в смысловой упорядоченности, несом-

---

[1] Эта уверенность в несмещаемости пространства настолько прочна в норме, что случаи, когда, покачнувшись или перевернувшись, человек ощущает, будто качнулось или перевернулось внешнее пространство, свидетельствуют уже о патологическом расстройстве вестибуло-мозжечковой системы ("головокружение").

[2] В несомненной связи с этой апериодичностью пространственного поля стоит встречающееся у паркинсоников явление, уже упоминавшееся в гл. IV: полная невозможность ходить по не размеченной тем или другим способом поверхности. Такая потеря способности шагать иначе, как по разметкам, обычно трактуется как результат потери побуждений ("Antriebe") к самопроизвольному движению, а разметки пола понимаются как экзогенный суррогат для замены этих побуждений. Объяснение это натянуто, так как, в конце концов, какие есть у нас основания полагать, что черта на полу может заменить собой побуждение к очередному ступанию ногой? Здесь для объяснения одной догадки подставляется другая. Гораздо более убедительно объяснение, прямо вытекающее из сказанного выше о свойствах пространственного поля. У паркинсоников избирательно поражается уровень синергий, особенно приспособленных по всем свойствам своей афферентации к кольцевым проприоцептивным замыканиям, к ритмическим чередованиям и повторениям. В результате такого поражения *деавтоматизируются циклические процессы,* протекавшие раньше на этом уровне, — в первую очередь ходьба. Разрушается и тот механизм *перешифровки*, который в норме превращает побуждение к перемещению своего тела в апериодическом пространственном поле в периодический, циклический акт шагания, реализуемый уровнем синергий. С распадом этого уровня нарушается не побуждение к движению, а способность находить в апериодическом пространстве предпосылки для периодических актов. Бумажные полоски или меловые черты на полу являются суррогатами именно для этих предпосылок: они *периодизируют пространственное поле.* Для нормального человека ходьба по полосам или, например, по шпалам создает, наоборот, добавочные затруднения, сбивая (деавтоматизируя) привычный механизм перешифровки (см. гл. VIII).

ненно, теряет зато в строго объективном, фотографическом соответствии действительным метрическим соотношениям.

Пространство уровня *C* отнюдь не пустое: оно *заполнено объектами,* имеющими размер, форму и массу, и *силами*, действующими между этими объектами. Эти силы тоже относятся нами к внешним координатам; они исходят от внешних тел и привязаны к ним, а не к нашему телу: мы и силовое поле проицируем во внешнее пространство.

Этими свойствами пространственного поля как ведущей афферентации определяются и основные характеристики управляемых им движений.

Движения, самостоятельно ведущиеся на уровне пространственного поля, образуют у человека уже чрезвычайно обильный класс, резко отличающийся по своему богатству и разнообразию от более чем скудного ассортимента, обнаруженного нами на уровне синергий. Прежде чем обращаться к их характеристике, следует упомянуть, что класс движений уровня пространственного поля образует собой "потолок" моторных возможностей: а) у высших рептилий, б) у птиц (у перелетных и хищных птиц стриальный подуровень *C1* проходит в некоторых отношениях через кульминационную точку своего филогенетического развития) и в) у низших млекопитающих, а также у человека в его раннем онтогенезе — приблизительно до второго года жизни, продолжая резко преобладать у него в течение всего детства. У высших млекопитающих начинает понемногу формироваться чисто кортикальный уровень действий *D*, но только у человека имеет место чрезвычайно интенсивный рост количества и сложности предметных и цепных действий этого уровня и формирование чуждых вообще всем животным высших кортикальных символических уровней (группа *E*), в связи с чем и относительное количество движений из уровня пространственного поля, и во многом степень их совершенства начинают ощутимо падать.

Движения уровня пространственного поля имеют прежде всего ясно выраженный целевой характер: они ведут откуда-то, куда-то и зачем-то[1]. Эти движения экстравертированы, обращены на внешний мир в не меньшей мере, чем движения уровня синергий интравертированы. Движения уровня *C* несут, давят, тянут, берут, рвут, перебрасывают. Соответственно с этим они имеют начало и конец, приступ и достижение, замах и бросок или удар. Движения в пространственном поле всегда по своей сути *переместительны;* если их внешнее оформление иногда по необходимости и циклично в силу устройства наших конечностей (ходьба, бег), то по своей смысловой структуре описываемые движения так же апериодичны, как и само пространство, в котором они текут.

Переместительное движение по самой своей сути предполагает прилаживание к условиям того внешнего пространства, в котором оно протекает. Эта *приспособительность к пространству,* владение пространством есть третья характерная черта движений рассматриваемого уровня, совершенно чуждая нижележащим уровням построения. Она проявляется в двух планах или оттенках, наме-

[1] Это не значит, разумеется, что мы отказываем движениям уровня синергий в *целесообразности*: в любом уровне движение, правильно решающее возникшую перед особью задачу, целесообразно. Но при этом движения в уровне *C*, все равно — однократные или повторные, всегда приводят к явственному *целевому конечному результату* (перекладывание вещи, вбивание гвоздя и т.п.), а движения в уровня синергий — нет (двенадцать подряд гимнастических приседаний или улыбка).

чающих грань между обоими упоминавшимися подуровнями. В нижнем (стриальном) подуровне она проявляется как приспособительность *по ходу процесса.* В уровне синергий, например, заканчивается и оформляется в детстве сложнейший синергетический концерт ходьбы, но ходьбы, так сказать, холостой или абстрактной. Стриальный подуровень адаптирует этот акт к рельефу и консистенции дороги, к уклонам, закруглениям, скользким местам, к бесчисленным мелким коллизиям, о которых босая нога могла бы многое рассказать обутой. Все эти изменения и прилаживания — прилаживания уже к внешнему полю, а не к собственному телу и его динамике, как это было на уровне синергий, технически необходимы для того, чтобы ходьба могла стать реальным, практически применимым актом. Эту группу приспособлений можно определить как проекцию двигательного процесса на внешнее реальное пространство с его силами и объектами. В верхнем подуровне *С2* та же приспособительность к внешнему пространству становится тоньше и специализированнее, приобретая более выраженный целевой, или *финальный, характер*, и превращается в проекцию движения на его конечную точку во внешнем пространстве с установкой на *точность* или меткость. Этот подуровень в очень большой мере индиферентен к траекториям, способу и характеру выполнения промежуточных этапов перемещения, полностью перенося коррекционное ударение в конечный пункт, в который, как в фокус, должны собраться все возможные (и фактически встречающиеся при повторениях в силу вариативности) траектории данного движения.

Далее, так как владение внешним пространством невозможно без уменья справляться с *внешними силами*, к движениям уровня пространственного поля относятся и движения силовые: поднимание тяжестей, баллистические (ударные, метательные) движения и т.п.

Следующая общая черта движений описываемого уровня тесно связана с упоминавшейся уже объективированной однородностью пространственного поля и очень характерным образом выделяет эти движения среди других. Эту черту можно было бы назвать *пространственной обусловленностью* движений в противовес *позной* обусловленности, господствующей на уровне синергий. Движения уровня *С* очень четко связаны со своими плацдармами во внешнем пространстве и очень мало связаны при этом с позой собственного тела в целом и даже с позициями промежуточных звеньев самой движущейся конечности. Скрипач, у которого моторика движений смычка базируется в основном на уровне синергий[1], никогда не решится изменить позу правой руки и стандартный рисунок ее межзвенных углов ни по отношению к инструменту, ни по отношению к верхней части туловища. Наоборот, у пианиста, двигательный состав координаций которого теснее всего связан с уровнем пространственного поля, самые разнообразные изменения позы тела и положений играющих рук никак не сказываются ни на меткости, ни на точности исполнения, ни на его темпе, причем в число таких изменений можно (эксперимента или фокуса ради) включить и самые причудливые, акробатические позиции тела. Излишне подчеркивать, как сильно могут изменяться при этом все позные и угловые соотношения играющих рук.

[1] Точнее говоря, этот уровень ведет важнейшие из фоновых компонент двигательного состава этого акта, протекающего в самом главном и целом (в неразрывной связи с работой левой руки) на высших кортикальных уровнях.

Наоборот, то, что пианисты называют туше и что непосредственно относится к способам извлечения звука и к художественным качествам последнего, будучи основано на фоновом уровне синергий, уже теснейшим образом связано с посадкой и позой рук. Это хорошо известно каждому музыканту-педагогу, и во имя этого ни один художник эстрады никогда не примирится с малейшей небрежностью в качествах табурета, подставленного к инструменту. Элемент меткости (пространственное поле) не сбивается от изменений посадки и позы, а в то же время элемент туше (синергии) чувствителен к ним так же, как и координации смычковой руки скрипача.

Эта противоположность между уровнями *B* и *C* нуждается в анализе. Низко стоящий уровень синергий, являющийся одним из старейших в филогенезе проявлений церебральной интеграции движений и ознаменовавший своим появлением возникновение возможности огромных, охватывающих все тело синергий, в то же время педантически нетерпим к малейшим изменениям двигательного состава реализуемых им движений и фонов и чрезвычайно склонен к образованию стойких штампов и стереотипов движения. Это объясняется тем, что построение движений уровня синергий и всех его сензорных коррекций исходит из *собственного тела*, из проприоцептивных ощущений поз этого тела, суставных углов и т.д. Эти позы, последовательно проходимые во время движения (а также и те реактивные силы, которые неизбежно возникают при этом), и становятся самой сутью движений, закрепляясь в виде навыка. Такому закреплению стандартной формулы, несомненно, способствует и образование свойственных этому уровню динамически устойчивых форм движения, которые автоматически препятствуют всяким отклонениям от раз найденного стереотипа (см. гл. VIII), но дело отнюдь не только в них одних, так как и медленные движения в уровне синергий, не проявляющие механических предпосылок к динамической устойчивости, тоже тяготеют в этом уровне к стереотипам.

Резко отличный по всем своим свойствам от этой штампообразности характер движений уровня пространственного поля подводит вплотную к большой группе явлений, имеющих первостепенную важность. Речь идет о взаимоотношениях между *точностью* и *вариативностью*, затрагивающих попутно и еще целый ряд других свойств координационного процесса.

Дело в том, что в зависимости от смыслового характера задач, свойственных тому или другому уровню, и от тесно связанного с ним качества и состава его корригирующих афферентаций в каждом уровне по-другому расставляются ударения между важным и неважным, по-своему проводятся знаки равенства между не вполне одинаковыми движениями или их компонентами. Среди бесчисленных возможных сторон движения, подлежащих сензорной коррекции, каждый из уровней вычленяет те, к которым он особенно взыскателен и для управления которыми он наиболее адекватно вооружен, отделяя их от тех, к которым он остается более или менее индиферентным. Очевидно, по отношению к первым он будет соблюдать максимально доступную ему устойчивость и точность, в то время как вторые будут в большей степени предоставлены им либо на волю случайности, либо на коррекцию, проводимую фоновыми уровнями, если какой-нибудь из них, в свою очередь, заинтересован в корригировании этой стороны и в выдерживании ее на высокой марке точности.

Так, например, верхний подуровень пространственного поля *C2* делает решающее

ударение на *точности попадания*, или *меткости*: меткости броска, удара, точности показывания или прикосновения, а в более сложном оформлении на точности воспроизведения видимой формы, например, срисовывания фигуры с соблюдением геометрического подобия. При этом подуровень *C2* в большой степени безразличен к путям достижения требуемой финальной меткости и к поведению органа в промежуточных точках. Нижний подуровень *C1* столь же требователен к точности, реализуемой *по ходу движения*: прилаживанию ходьбы к неровностям почвы, ступенькам, подъемам и спускам, прилаживанию движений карандаша к обведению нарисованного контура, движений напильника — к конфигурации обрабатываемой поверхности и т.д. Уровень действий *D*, о котором речь будет ниже (см. гл. VI), столь же требователен по отношению к конечному результату смысловой цепи движений при заметном индифферентизме к составу рабочих приемов и последовательных исполнительных элементов цепи. Примеры было бы легко умножить.

Есть очень много движений, для которых установить объективный критерий точности значительно труднее, нежели для движений, связанных с меткостью попадания. Здесь на помощь приходит то обстоятельство, что, естественно, уровни допускают по отношению к безразличным для них сторонам и компонентам движения значительно более высокую *вариативность*, нежели по отношению к тем, которые имеют для них первостепенное значение. Таким образом определяется очень характерный признак принадлежности движения к тому или другому уровню или же к его уровневому составу, который можно было бы назвать *признаком специфической вариативности* (см. гл. IX). Помимо качественных отличий в направлениях и сторонах, предоставляемых разными уровнми на долю вариативности, имеет место и очень выразительный количественный *рост вариативности снизу вверх*, от уровня к уровню, стоящий в несомненной связи с упоминавшимся еще в гл. I ходом биологической эволюции двигательных задач в направлении все растущего разнообразия и приспособительности. Действительно, *вариативность является оборотной стороной точности*: не располагай тот или иной уровень известными резервами вариативности и изменяемости реализуемых им движений, он был бы не в состоянии *гибко и точно прилаживать* их к разнохарактерным условиям действительности.

Вариативность и изменяемость движений уровня синергий крайне незначительны[1], что отчасти искупается высокой тщательностью отделки и амплитудой синергетического охвата, присущими его двигательным штампам. Вариативность подуровня *C1*, а особенно *C2*, значительно выше, как будет еще показано на ряде примеров[2]. Еще больше она у уровня действий *D*, хотя там вступают в силу некоторые характерные ограничения.

---

[1] Наши циклограмматические измерения многих случаев высокоавтоматизированных циклических движений, как ходьба, бег, опиловка и т.п., показали, что вариативность последовательных синергетических циклов обычно не превышает нескольких миллиметров по пространственным координатам траекторий и нескольких миллисекунд по длительностям.

[2] Характерная черта соотношений между вариативностью и точностью видна из следующего примера. Если испытуемый повторяет несколько раз (на уровне синергий) круговое движение рукой в порядке гимнастического упражнения, то, как показывает обмер циклограмм, последовательные круги отклоняются друг от друга не более чем на 10—15 мм — настолько точна здесь координация. Если же движение состоит в уколе иглой начерченной точки (уровень пространственного поля), то точность самого укола оказывается намного выше, чем у предыдущего движения; до долей миллиметра;

То самое явление, которое в непроизвольном плане выглядит как вариативность, в плане преднамеренном и целевом обращается во взаимозаменяемость двигательных компонент и *переключаемость* движения с одного органа на другой. Движения уровня пространственного поля обнаруживают в резком отличии от движений и фоновых координаций, управляемых уровнем синергий, очень большую переключаемость. Показать точку одинаково легко и точно можно и пальцем правой руки, и пальцем левой, а в случае надобности пальцем ноги, носом и т.д. Взять предмет, поднять с пола карандаш, нажать кнопку звонка, поднять щеколду, дернуть за веревку можно с равной легкостью как одной, так и другой рукой, с любого бока и любым способом. Штампы уровня синергий, привязанные к определенным позициям конечностей, конечно, тем более привязаны к самой конечности, освоившей их. В вышележащем уровне *D* уже отчетливо сказывается функциональная неравноценность правой и левой руки за счет доминантности одного из полушарий; таким образом, переключаемость, несомненно, проходит в описываемом уровне *C* через свой максимум.

В уровне пространственного поля легко переключаемы не только траектории движения и исполнительные органы, *переключаемы* также *приемы*. При ходьбе в реальных условиях: на пересеченной местности, в горах и т.д., задача движения — перемещение в определенное место — по ходу дела решается десятками способов: ходьбой, прыжком, ползком, бегом, карабканьем. Мальчику нужно пройти сто шагов; он из них часть пройдет, часть пробежит, часть проскачет на одной ножке или пройдется колесом. Человеку, умеющему ездить на велосипеде, совершенно безразлично, какой рукой, в каком месте и какой хваткой держаться за руль; очень легко научается он ездить и без руля и тому подобному.

У упоминавшегося уже ранее скрипача движение *левой* руки строятся в отношении важнейших двигательных фонов на уровне пространственного поля, как и движения рук пианиста. Здесь, как известно, не только с большой легкостью совершается смена позиций кисти или смена избранной для исполнения струны (знаменитые виртуозы, когда у них лопались на эстраде струны, не раз доводили до конца труднейшие концерты на одном баске), но и легко осуществляется переключение, например, со скрипки на альт, хотя у последнего длина грифа, т.е. и все аппликатуры, все требуемые взаимные расстояния между концами пальцев, почти в полтора раза больше, чем у скрипки. Хорошему скрипачу легко дается усвоение аппликатуры даже виолончели, хотя здесь изменены уже не только размеры, но и положение, и направление грифа.

Другой аспект все той же переключаемости, свойственной уровню пространственного поля, — это пресловутая "*пластичность*" *нервной системы,* обнаруживающаяся во всевозможных экспериментах с ампутациями и нервными и мышечными анастомозами. Достаточно просмотреть соответствующую литературу (Bethe, Osborne, Kilvington, П.К. Анохин, Э.А. Асратян и др.), чтобы убедиться, что все отмечавшиеся экспериментаторами быстрые перестройки и переключения в опытах этого рода относились к движениям на уровне пространственного поля;

а в то же время те траектории, по которым рука при повторных уколах двигалась к бумаге, могут расходиться друг с другом на многие сантиметры. Таким образом, целевая точность (отсутствующая в уровне синергий) во много раз превосходит точность, доступную уровню *B*, но при этом уровень пространственного поля очень мало озабочивается тем, по каким путям и какими средствами организуется эта финальная точность.

Рис. 40. Письмо бездвурукого Я. (см. левую сторону рис. 38)
Сверху — карандашом, зажатым в зубах, *снизу* — пером, зажатым в щипчики ручного протеза. Несомненно наличие в обоих случаях некоторых общих особенностей почерка (конец слова "Привет", группы букв "конфе", "Ярош" и т.д.)

с движениями из уровня синергий их постигло бы горькое разочарование. Подобные же явления ярко выражены у ампутированных людей-инвалидов (рис. 37—39, *не помещены. — Примеч. ред.*). Так, инвалиды, лишенные обеих рук, легко научаются писать ногой или ртом. Автор наблюдал в 1941 г. девушку, лишившуюся при железнодорожной катастрофе обеих рук и одной ноги. Она обучалась в средней школе и умела хорошо писать: а) ртом, б) уцелевшей ногой и в) искусственной рукой. Что очень характерно для координаций уровня пространственного поля, *почерк* ее при всех трех приемах сохранял свои характерные черты (рис. 41, *не помещен. — Примеч. ред.*), т.е. также обнаруживал свойство переключаемости. На рис. 40 приведено письмо бездвурукого мужчины; один отрывок написан карандашом, зажатым в зубах, другой — пером, зажатым в щипчики ручного протеза. Рисунок ясно показывает, как пространственный контур движения находит себе дорогу через самые разнообразные перешифровки. С движениям уровня синергий ничего подобного не получается из-за несмещаемости штампов.

Надо заметить, что и у здоровых людей почерк проявляет подобную же переключаемость. Нам безразлично, писать ли мелко или крупно, пером на горизонтальной или мелом на вертикальной плоскости, хотя при этих вариантах движения вовлекаются в работу совершенно разные мышцы и разным образом. Автор ставил опыт над интеллигентным субъектом, заставив его *без* какой бы то ни было *предварительной тренировки* писать карандашом, прочно укреплявшимся: 1) к правому запястью, 2) к правому локтю, 3) к правому надплечью, к кончику 4) правой и 5) левой стопы, а кроме того, карандашом, взятым 6) в зубы и 7) в левые пальцы (рис. 42, *не помещен. — Примеч. ред.*). Во всех этих переключениях

письмо удавалось сразу, хотя и с известным трудом; результаты опыта приведены на рис. 43. Интересно, что плавная округлость скорописного почерка (создаваемая фоновыми координациями уровня *синергий*) не удержалась ни в одном из вариантов письма, кроме привычного писания правой кистью; в то же время почерковый характер отдельных букв, связанный с коррекциями уровня *С*, сохранен всюду очень отчетливо.

Все проявления переключаемости, о которых речь шла в последней группе примеров, относятся уже к *верхнему подуровню* пространственного поля. Этот подуровень в еще большей мере, чем нижний, проявляет свойства освобожденности от жестких измерителей низовых уровней. Нам не только безразлично, изобразить ли квадрат, круг, букву и т.п. на горизонтальной или на вертикальной поверхности, длинным или коротким карандашом или прямо пальцем; нам в равной мере безразлично, изобразить ли эти контуры мелко или крупно. Если нижний подуровень сочетает позную и суставно-угловую переключаемость с сохранением *пространственного тождества* (конгруентности), то подуровень *С2* распространяет эту же переключаемость и на случай сохранения *геометрического подобия*. Пример с почерком, может быть, особенно разителен, показывая, как *ведущий геометрический образ пролагает себе путь через любые мышечные системы, через любые иннервации, при любых масштабах*. Срисовывая находящийся перед глазами рисунок или натуру, рисовальщик воспроизводит их с точным соблюдением геометрического подобия, и, во всяком случае, степень трудности такого воспроизведения меньше всего зависит для него от выбранного масштаба рисунка.

Обобщая, нужно сказать, что во всех рассмотренных случаях движущуюся конечность (точнее говоря, ее *рабочую точку*) ведет пространственный контур движения: в подуровне *С1* — непосредственно заданный (типовое движение — *обведение* предъявленной фигуры); в подуровне *С2* — заданный или представляемый как геометрическая форма, без ограничения местоположения и масштаба (типовое движение — *срисовывание* фигуры). Именно по отношению к рабочей точке и соблюдается в описываемом уровне наинизшая вариативность и наибольшая точность. Особенно замечательны случаи, когда рабочей точкой служит не какой-либо пункт самой конечности, а пункт на продолжающем ее орудии: кончик пера, карандаша, ножа, центр теннисной ракетки, боек молотка и т.п. В этих случаях при развитом двигательном навыке, несмотря на то, что эти рабочие пункты орудий лишены каких-либо возможностей для прямой сензорной сигнализации, корригирование их движения осуществляется все же отнюдь не только посредством зрения. Это ясно подтверждается тем, что при автоматизации такого навыка очень часто оказывается возможной работа не глядя. Это может означать только, что в проприоцептивной сензорно-коррекционной системе *с помощью зрения* вырабатываются соответственные *перешифровки*, переводящие пространственные ощущения в элементах конечности на язык соответствующих этим ощущениям позиций и перемещений рабочей точки[1].

---

[1] И проприоцептивная оценка положения в пространстве кончика собственного пальца дается менее всего рецепторами, помещающимися на нем самом, и создается синтетически по данным проприоафферентации всех пунктов руки; только в этом случае навык оценки положения прочно автоматизирован еще с детства.

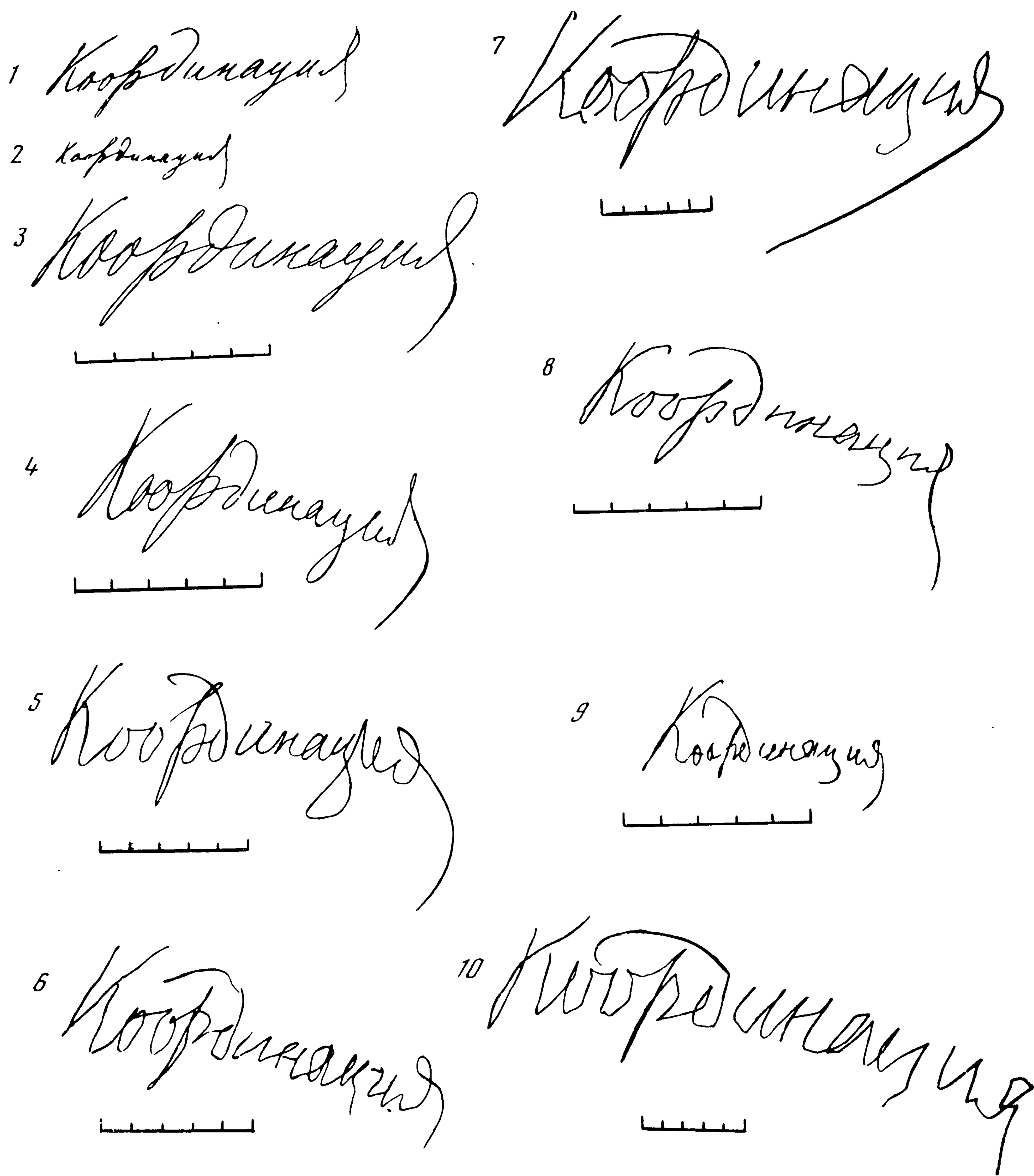


Рис. 43. "Пластичность нервной системы" при письме различными пунктами конечностей

1 и *2* — нормальная скоропись пальцами правой руки; *3* — карандаш удерживается в пальцах правой руки, письмо производится раскачиваниями правой кисти как целого; *4* — карандаш укреплен около шиловидного отростка правой лучевой кости; *5* — карандаш укреплен около медиального надмыщелка правой плечевой кости; *6* — карандаш укреплен на правом надплечье; *7* — карандаш укреплен к носку ботинка правой ноги; *8* — карандаш удерживается зубами и прибинтован к голове; *9* — карандаш удерживается пальцами левой кисти; *10* — карандаш укреплен к носку ботинка левой ноги. Линии внизу каждого факсимиле — 5 см натуральной величины. Испытуемый — нормальный нетренировавшийся субъект с преобладанием предметного уровня в моторике. На рисунке видны: а) весьма большая сохраняемость характера

Наконец, все те же явления вариативности и переключаемости и уже обрисованная гибкая приспособляемость уровня *С* к изменчивым условиям действительности играют самую главную роль в осуществлении *экстемпоральности*, отмечавшейся еще в гл. I в числе сторон и направлений развития двигательных реакций в филогенезе. Действительно, уровни, хорошо приноровленные к выполнению штампов, мало пригодны для реализации разовых, непредвиденных двигательных реакций, может быть, именно в силу большой и громоздкой сложности выполняемых ими координаций. Штампы уровня синергий могут быть очень точно пригнанными, отработанными, обладать сыгранностью, охватывая иногда огромные ансамбли мышц и сочленений, но создавать новые, внезапные двигательные комбинации этому уровню так же трудно, как оркестру играть импровизацию. Наоборот, более высокие уровни, легко идущие *в непроизвольном плане* на допущение вариаций в отдельных сторонах и компонентах движения, с той же легкостью осуществляют по побуждениям удобства или необходимости *преднамеренные разовые модификации* своих (обычно более простых и портативных) движений, откликающиеся на то или другое нетрафаретное изменение ситуации. Если сензорные коррекции уровня организованы так, что допускают возможность целого ряда эквивалентных путей, ведущих к одному и тому же результату и легко взаимозаменяемых, то эта же способность к переключению и прокладыванию различных от случая к случаю тропинок к неизменной цели позволяет легко нащупывать и новые комбинации движений. Экстемпоральность, как правило, не проявляется по отношению к тем сторонам движения, которые данный уровень выдерживает точно, на низкой вариативности. Здесь гибкость и приспособляемость двигательного аппарата проявляют себя только медленно, путем длительных перестроек на основе накапливаемого опыта.

Таковы общие черты движений и координаций уровня пространственного поля. Обращаемся к его локализации.

О мозговых субстратах его афферентационной части было уже сказано в начала этой главы. Эффекторных образований у этого уровня, по меньшей мере, два, что и подкрепляет в первую очередь проводимое здесь разделение его на два подуровня: 1) *corpus striatum* (полосатое тело), анатомически составленное из двух далеко отставленных друг от друга ядер, *nuclei caudati* (хвостатого ядра) и *putaminis* (скорлупы), и являющееся верхним этажом экстрапирамидной эффекторной системы, и 2) *гигантопирамидное поле 4 коры полушарий,* представляющее собой ”выходные кортикальные ворота” пирамидной эффекторной системы. Оба эти образования филогенетически резко разновозрастны (см. гл. VII); это позволяет предполагать, что и в функциональном плане нижний подуровень сформировался в филогенезе раньше верхнего (рис. 44—47, рис. 48, *не помещен. — Примеч. ред.,* а также рис. 25).

При всей существующей до сих пор неполноте сведений об афферентациях striatum бесспорно, что они отличаются по своему качеству и составу от афферен-

---

почерка; б) почти полная непереключаемость фоновых синергий скорописи (округлость, плавность), резко отличающих варианты *1, 2* и *3* от всех остальных; в) обширная переключаемость компоненты уровня пространственного поля; г) наличие координаций предметного уровня, характеризуемое резким ухудшением почерковой координации при переключениях на *левую сторону* тела (варианты *9* и *10*) (работа автора, ЦНИИФК, 1940 г.)

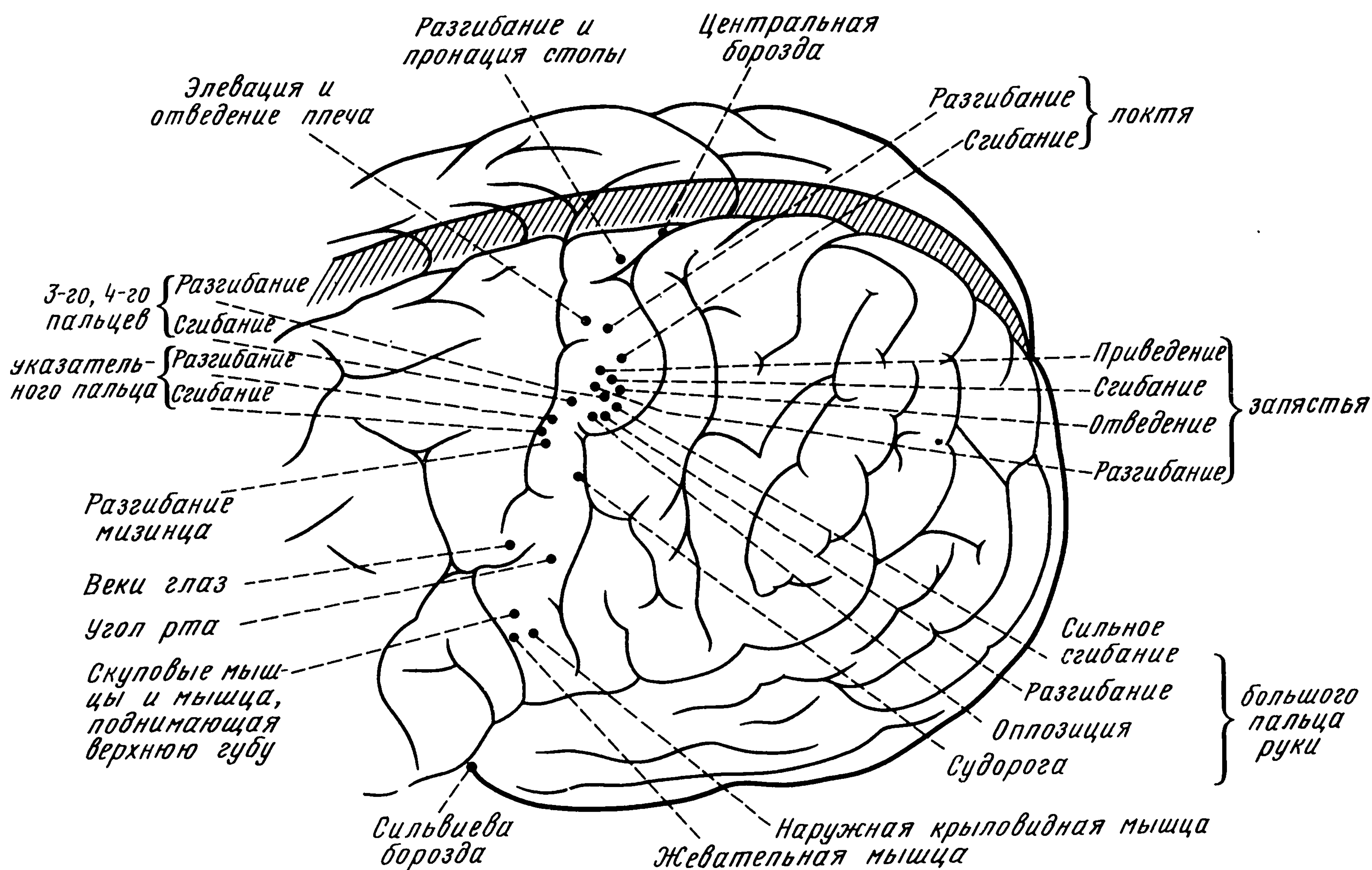


Рис. 44. Левое полушарие мозга человека с обозначением движений, получающихся при фарадическом раздражении различных точек коры — по F. Krause, сводка результатов, полученных при хирургических операциях (из руководства L. Mohr und R. Staehelin)

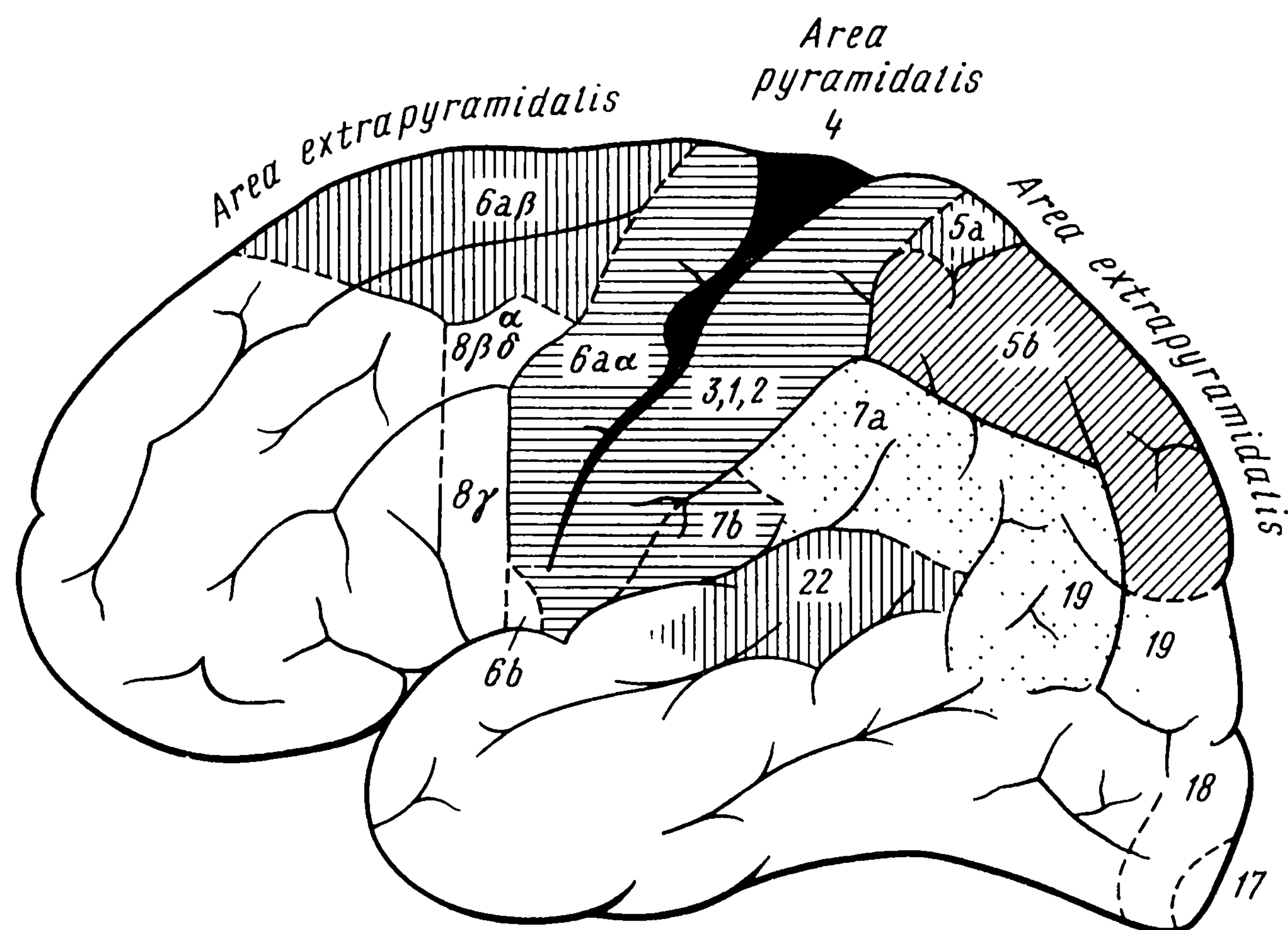


Рис. 45. Карта левого полушария большого мозга человека с отметкой важнейших моторных полей

Пирамидное поле *4* зачернено, основное премоторное поле *6aα*, расположенное непосредственно кпереди от него, покрыто горизонтальной штриховкой (по O. Foerster)

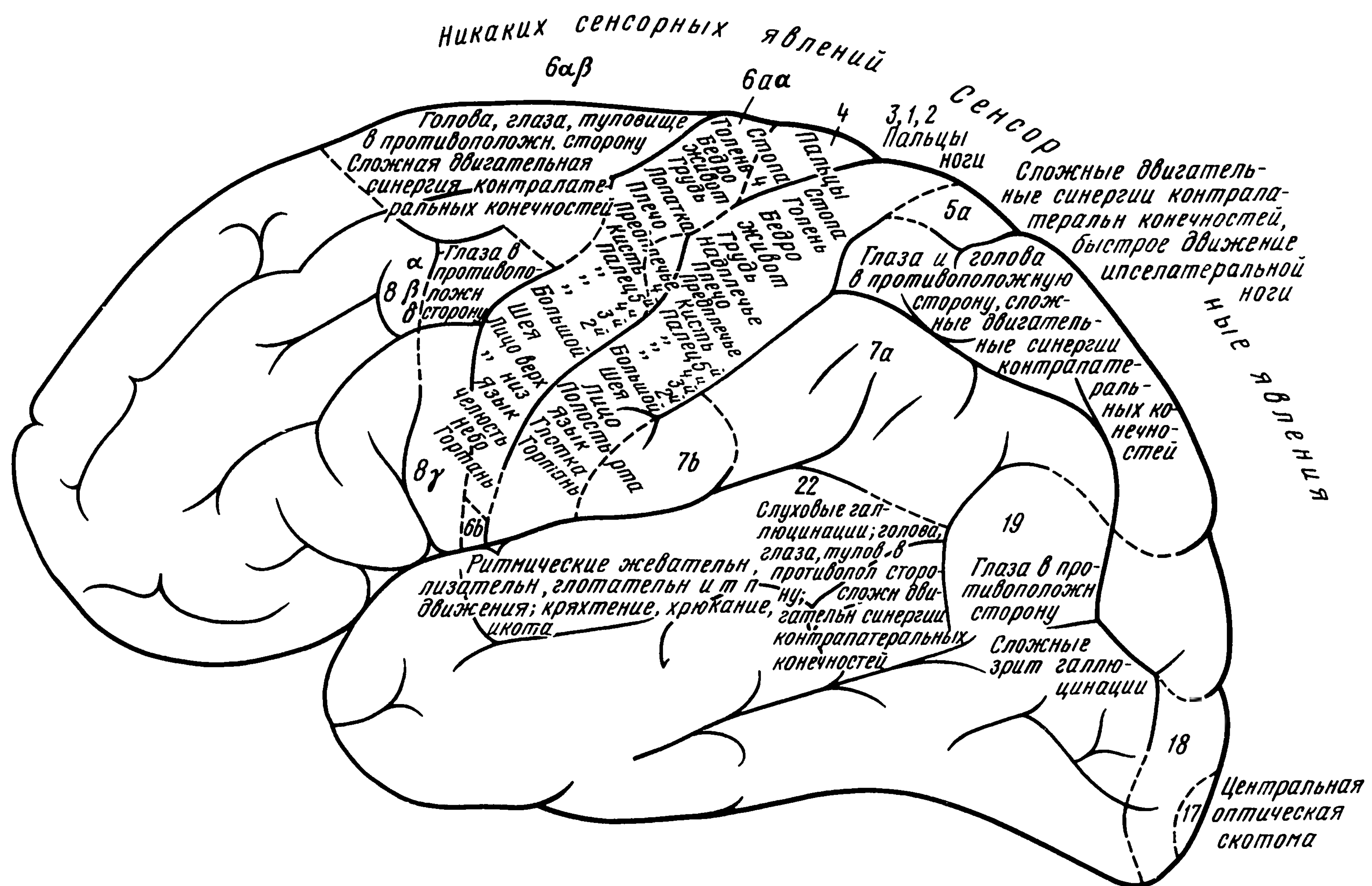


Рис. 46. Наружная поверхность левого полушария большого мозга человека с обозначением движений, получающихся при электрическом раздражении различных пунктов коры (по O. Foerster)

таций пирамидной эффекторной системы. Наряду с резкими несходствами клинических картин выпадений при поражениях striatum и пирамидной эффекторной системы это обстоятельство служит сильным аргументом для признания двух раздельных подуровней. Клиницисту труднее было бы признать обе названные анатомические системы за один целостный уровень, чем примириться с расчленением его на два слоя. Однако в действительности пропасть между пирамидной эффекторной системой и верхним этажом экстрапирамидной эффекторной системы, несомненно, не так велика. Во-первых, клиницисты имеют дело не с отправлениями, а с выпадениями, не с функцией, а с дисфункцией, что далеко не одно и то же. Во-вторых, бóльшая часть того, что понимается в широком невропатологическом обиходе под экстрапирамидными движениями, относится к таламо-паллидарному уровню синергий. Эти синергии, как было показано выше, либо самостоятельно реализуются в уровне *B*, либо же нуждаются для своего осуществления в пилотаже со стороны striatum или пирамидной эффекторной системы. Трудность реализации синергий этого фонового типа без помощи striatum заставила (ошибочно) относить их к последнему, и это, действительно, сделало различие между пирамидно-кортикальными и стрио-паллидарными движениями очень глубоким. Однако нужно расценивать явление точнее.

Если оставить в стороне действительно резкую антитезу между уровнями *B* и *C*, достаточно подчеркнутую в предшествующем изложении, и обратиться хотя бы к свидетельствам клинической литературы о *стриальной патоло-*

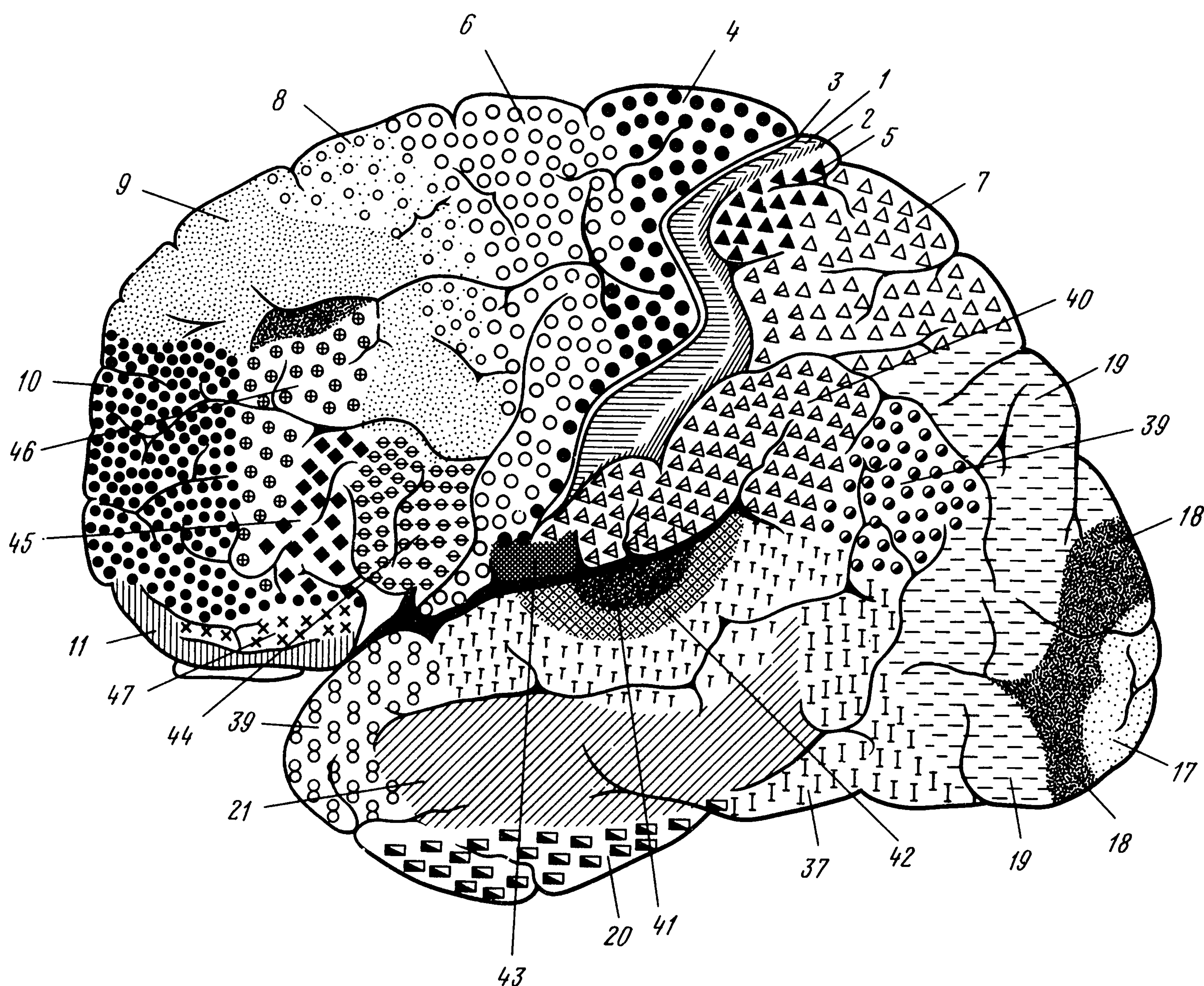


Рис. 47. Цитоархитектоническая карта наружной поверхности левого полушария большого мозга человека

Различные по микроскопической структуре поля обозначены их номерами по Brodmann и различными видами штриховки. Пирамидные поля *4* покрыты черными кружочками, премоторные поля *6* — белыми большими кружками (по Brodmann)

гии, то окажется, что, в то время как таламо-паллидарный уровень у человека полностью интравертирован, striatum с его афферентными системами тесно связан *с реализацией движений в пространстве*. Foerster связывает с ним стояние, сидение и ходьбу. Graham Brown относит на долю striatum бег, например, локомоторные движения теннисиста, т.е. четкие образцы движений на нижнем подуровне пространственного поля. С. & О. Vogt приписывают striatum "высококоординированные двигательные импульсы, связанные с речью и движениями туловища и конечностей". Jacob считает striatum центром выразительных и реактивно-оборонительных движений[1], ориентировочных и установочных движений, составных двигательных и статистических элементов сидения, стояния и ходьбы — все они явно относятся к движениям из класса пространственного поля. Примерно так же характеризует striatum Schilder. В эти данные клиницистами характеристики striatum целиком укладывается то, что было описано выше как проек-

[1] О некотором смешении в этом пункте функций striatum и pallidum см. гл. VIII.

ция двигательного процесса на внешнее пространство, как текучее прилаживание к пространству и его силовому полю по ходу двигательного акта[2].

Характерных функциональных отличий кортикальной пирамидной эффекторной системы от системы striatum два. Во-первых, пирамидная эффекторная система значительно интимнее связана со зрительной, а стриальная система — с проприоцептивной афферентацией; поэтому двигательные свойства точности и меткости приобладающим образом связываются с пирамидным аппаратом и первыми выпадают при его поражениях. Во-вторых, при нарушениях целости пирамидной эффекторной системы страдают преимущественно произвольные движения, а при экстрапирамидных поражениях — непроизвольные. Это различие, само по себе глубокое и важное, лежит в совершенно другом плане, нежели рассматриваемый здесь вопрос о качествах двигательных координаций, и уже получило выше (см. гл. II) освещение в общем указании на постепенный рост снизу вверх как произвольности, так и осознанности движений последовательных уровней.

Перечень самостоятельных, целостных движений, ведущихся на уровне пространственного поля, настолько обширен, что какая бы то ни было возможность составления их каталога совершенно исключается. Все, что реально возможно сделать, — это выделить важнейшие виды и группы этих движений и снабдить опись этих основных групп немногими более или менее наудачу взятыми примерами.

I. Всевозможные *локомоции*: ходьба (рис. 49), бег (рис. 50), ползание, лазание плавание (рис. 51—53, *не помещены. — Примеч. ред.*), ходьба по канату, ходьба на руках и т.п. Далее, сюда же относятся *локомоции на приспособлениях*: бег на коньках (рис. 54), ходьба на лыжах (рис. 55), на ходулях, езда на велосипеде, гребля и т.д. Все это будут циклические локомоторные процессы. За ними следуют ациклические локомоции: прыжки с разбега (рис. 56; рис. 57—59, *не помещены. — Примеч. ред.*), а также см. рис. 100) и с места; в длину, в высоту, в глубину; прыжки в цель (например, в окно, через обруч и т.п.), прыжки на лошади, акробатические прыжки и т.п. Наконец, к группе локомоций нужно отнести и движения *ходьбы с тягой или толканием* (повозки, тачки, невода, бурлацкой лямки, спортивное упражнение "перетягивание каната" и т.п.). Все это — переносы всего тела в пространстве.

II. *Нелокомоторные движения всего тела в пространстве.* Сюда войдут сальто, акробатические движения, упражнения на брусьях, кольцах, турнике, трапеции и т.п. (рис. 60).

III. *Движения "минипулирования с пространством"* отдельных частей тела. Среди них встретятся и движения, которые можно было бы назвать "локомоциями конечностей", например, движения рук машинистки на пишущей машинке или музыкантов по аппликатуре инструмента (левая рука у смычкистов, обе руки у пианиста, арфиста, баяниста, ноги органиста и т.д.); к этим движениям даже в обиходной речи привились локомоторные термины: "беглость пальцев", "пальцы забегали по струнам" и т.п. (рис. 61). Сюда же относятся и движения с той же бег-

---

[1] Проницательнейший неврофизиолог XIX в. H. Jackson еще в конце 60-х годов высказывал, что передняя центральная извилина коры представляет собой вместе со striatum "средний уровень" в организации двигательного аппарата и что зоны, расположенные кпереди от пирамидного поля, являются также моторными; они представляют собой высшие двигательные центры (H. Jackson, изд. 1927 г., с. 36 и 40).

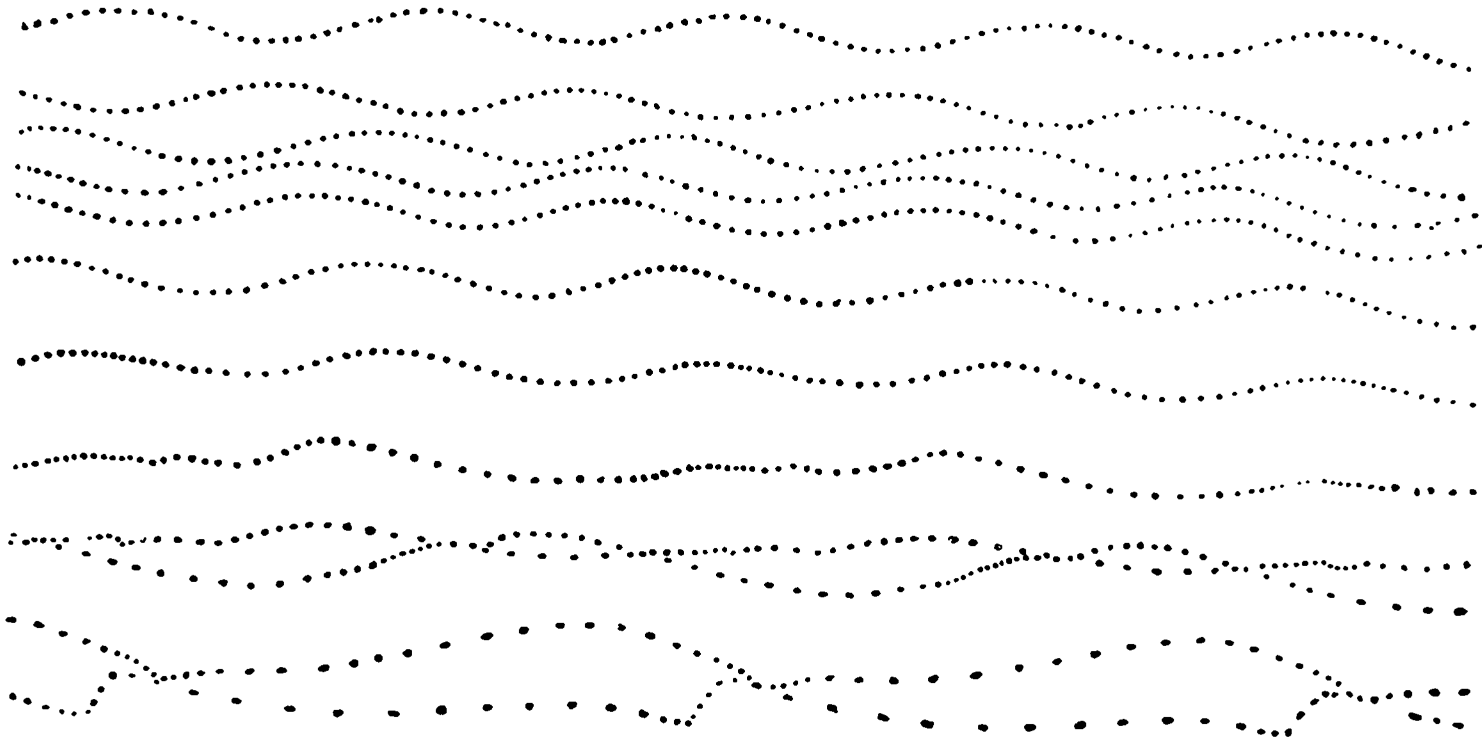
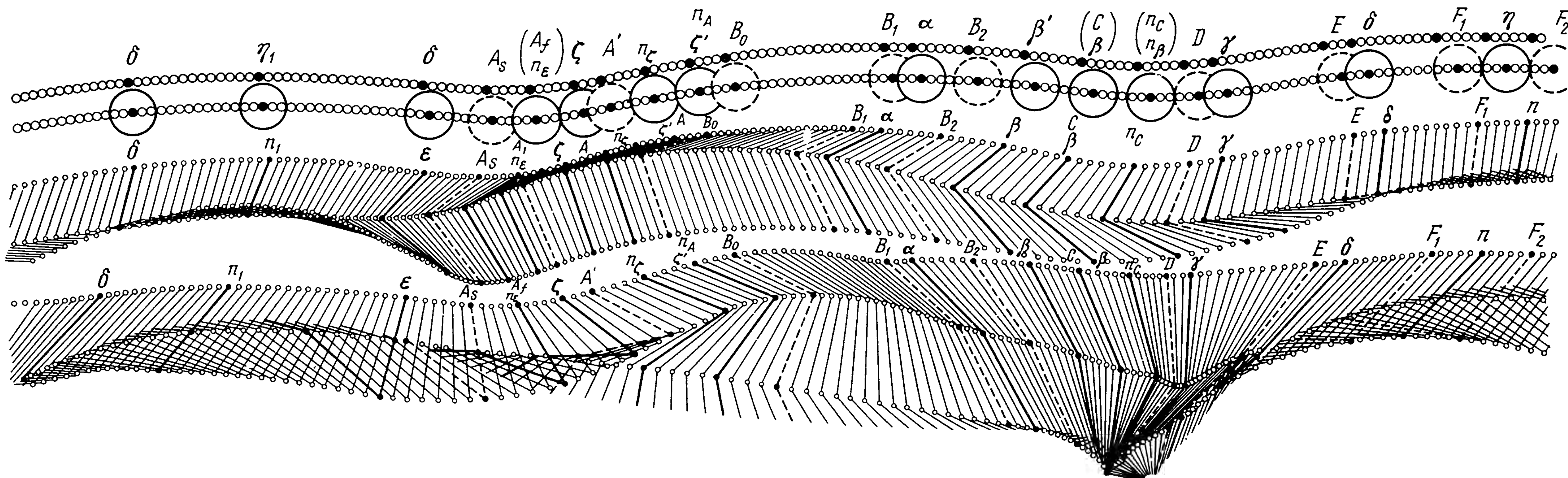


Рис. 49. Типичная циклограмма нормальной ходьбы. Левая сторона тела.

Кривые отдельных точек тела, подобно кривым рис. 29, дают характерный образец синергетического фонового узора в уровне B с присущей ему ритмичностью, стандартностью последовательных циклов и быстрой сходимостью выражающих эти кривые рядов Фурье (работа автора, ВИЭМ, 1935 г.)

Рис. 50. Тип локомоторного движения в уровне пространственного поля *C1*

Последовательные положения правой стороны тела при беге стилем миттельштрек (мировой рекордсмен Ж. Лядумег). Частота изображаемых поз 187 в секунду (работа автора, ЦНИИФК, 1936—1939 гг.)



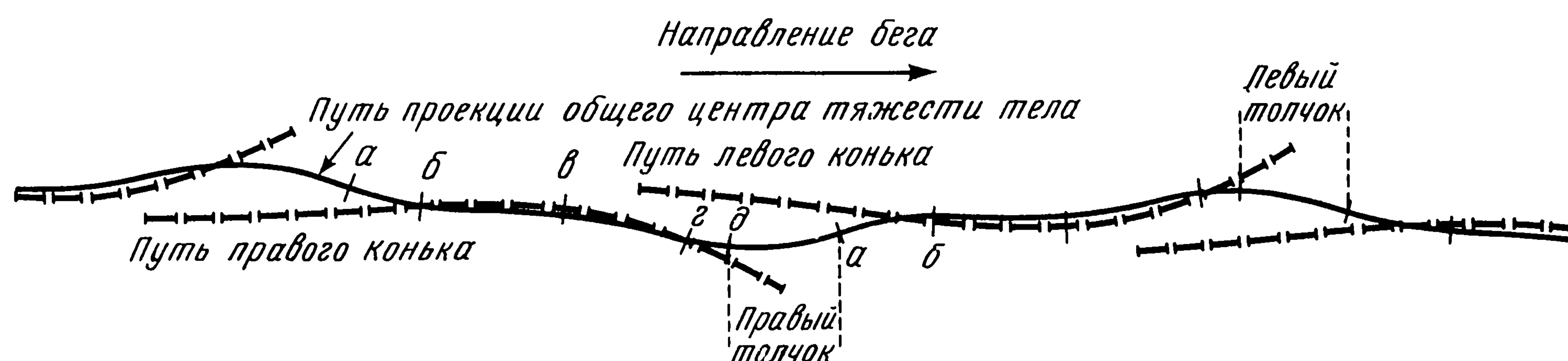


Рис. 54. Схематический план-чертеж пути проекции общего центра тяжести тела и путей коньков при беге на коньках по прямой

Для ясности схемы поперечные размеры и кривизна значительно преувеличены. Кривизна пути общего центра тяжести всюду (кроме толчковых двухопорных фаз) обращена выпуклой стороной к опорному коньку; она тем больше, чем дальше отстоит проекция общего центра тяжести от пути конька, что характеризует динамически уравновешенный характер движения в разбираемом случае (работа автора, ЦНИИФК, 1939 г.)

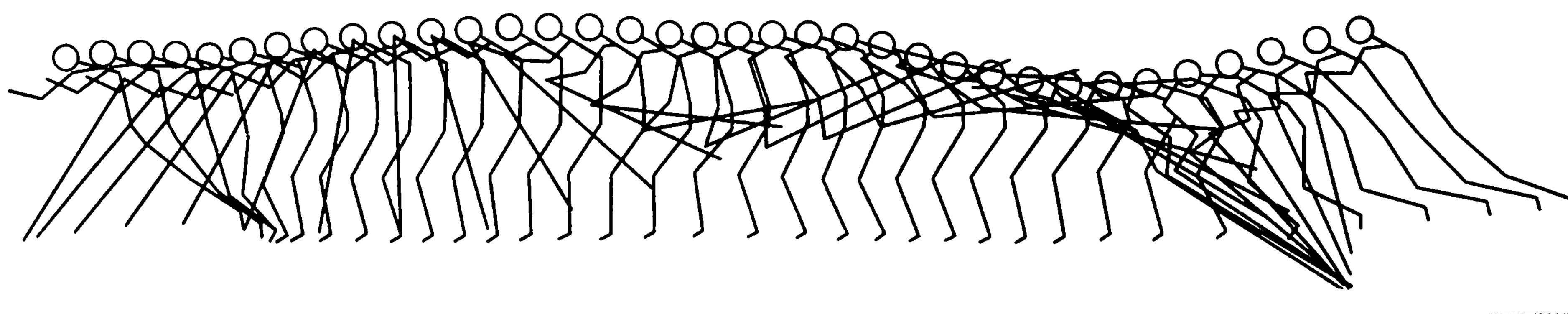


Рис. 55. Фигурки последовательных положений тела при ходьбе на лыжах (по циклограмме автора и Н. Садчикова, ЦНИИФК, 1939—1940 гг.)

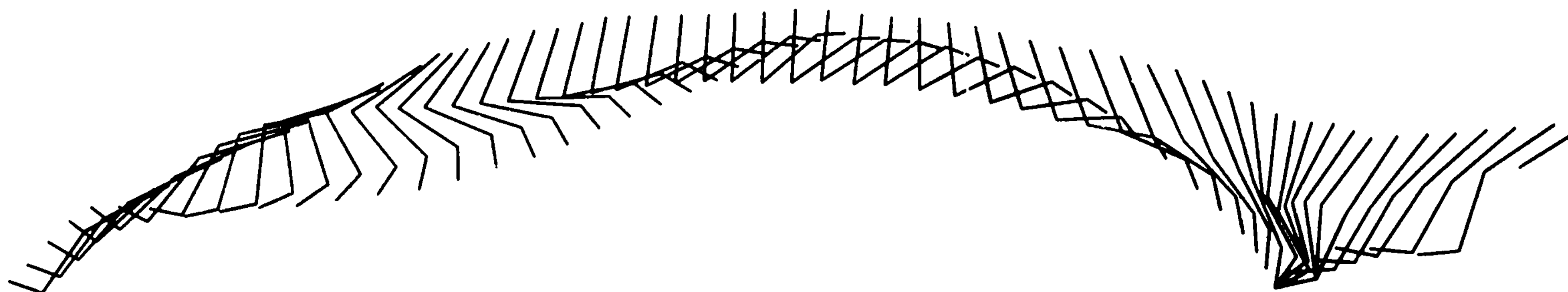


Рис. 56. Тип локомоторного движения в уровне пространственного поля *C1*

Последовательные положения левой ноги при прыжке в длину с разбега (работа Н. Садчикова, ЦНИИФК, 1938—1939 гг.)

лостью пальцев, но без переноса руки, например, движения пальцев бодиста или играющего на духовом инструменте. Другие движения этой же группы представляют собой однократные целевые переносы в точных пространственных координатах: движения указывания, прикосновения, укола, обвода контура и т.п.[1] (рис. 62, *не помещен.* — Примеч. ред.).

[1] Но не движение, например, закладывания ноги на ногу при сидении, не связанное с координатами пространства и идущее на уровне *B*.

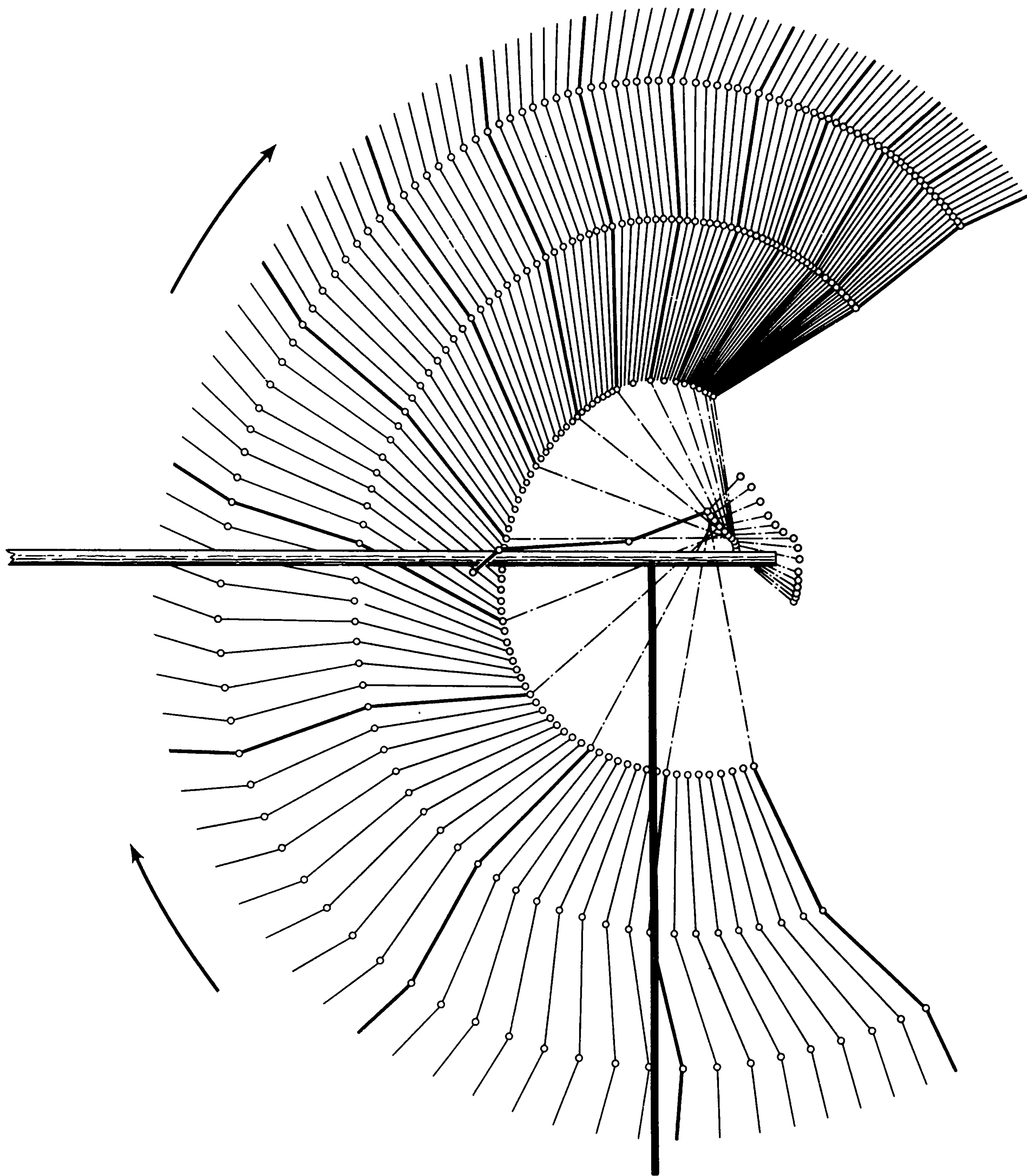


Рис. 60. Тип нелокомоторного движения в уровне пространственного поля *C1*
Часть движения "всклопки" чемпиона СССР Рцхиладзе на параллельных брусьях. Последовательные положения левой стороны тела с частотой 130 поз в секунду (работа автора, ЦНИИФК, 1937 г.)

IV. *Перемещение вещей в пространстве*: движения взятия, схватывания, ловли летящего или движущегося предмета, передвигания, перекладывания, переноса и т.п.; всовывание, вдавливание, доставание, навивка, наматывание; *преодолевание внешних сил*: подъем тяжестей, натягивание лука или струны и т.п.

Перечисленные группы тяготеют основным образом к нижнему подуровню *C1*.

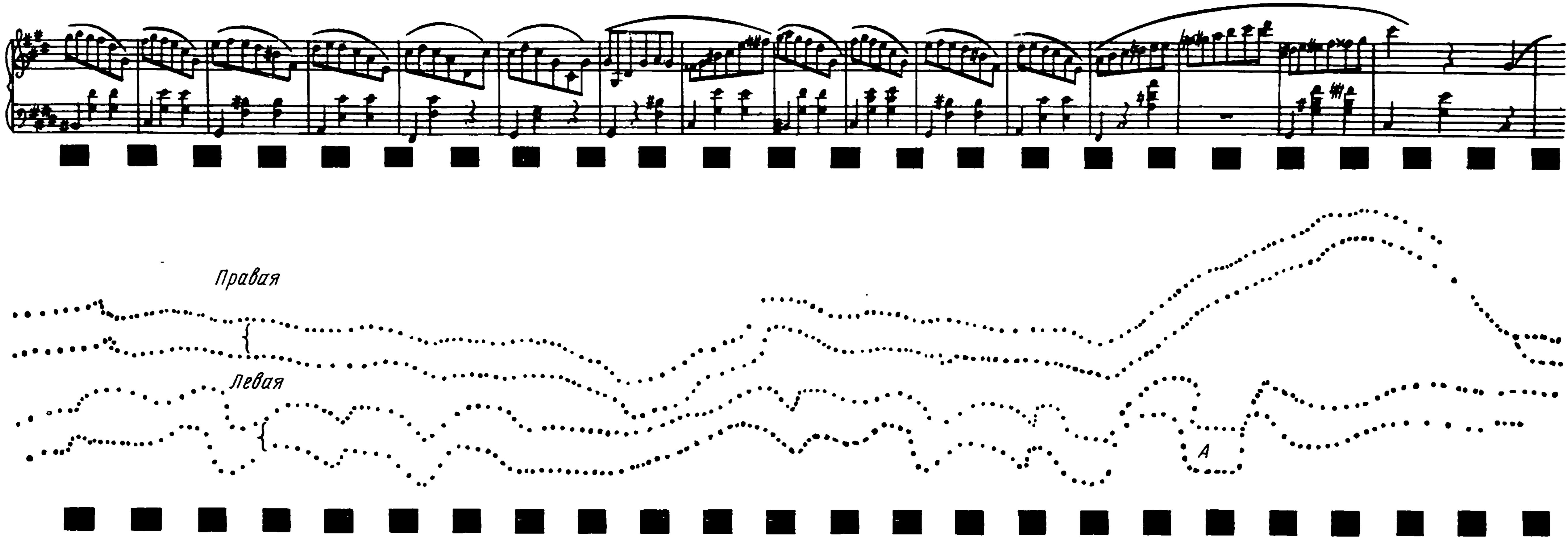


Рис. 61. Типы движений в уровне пространственного поля: кимоциклограмма исполнения седьмого вальса Шопена

Снимок сделан сверху. На каждой кисти помещены по две лампочки. На рисунке даны 16 тактов (с 33-го по 48-й). Отчетливо видна разница получающихся в этом уровне двигательных узоров от штампованных "patterns" уровня синергий (работа А. Шевеса и автора, Муз.-пед. лаборатория Московской консерватории, 1939 г.). Отметим интересное персевераторное движение левой руки близ буквы *A*, приходящееся на целотактную паузу

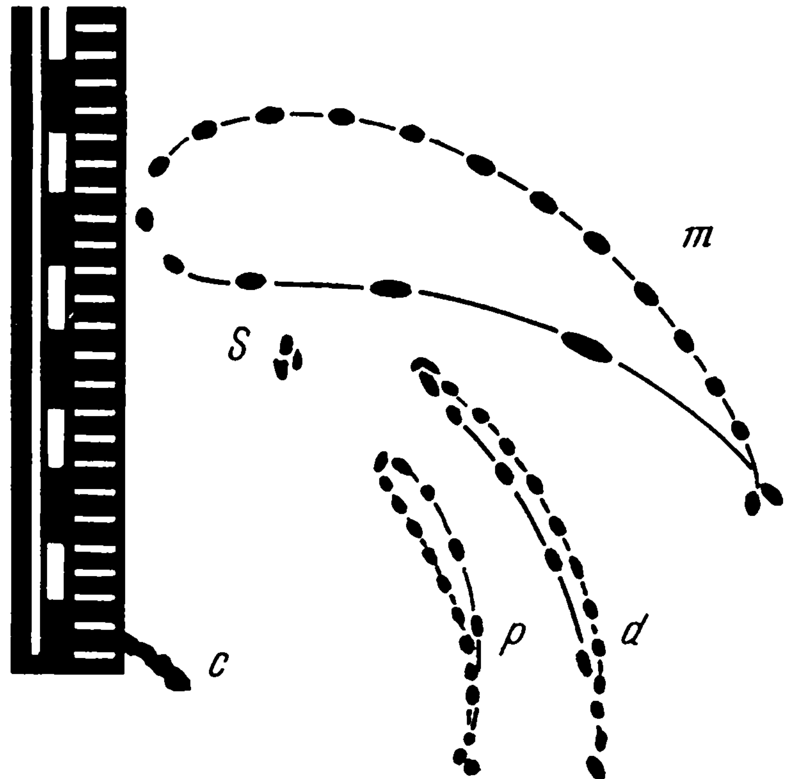
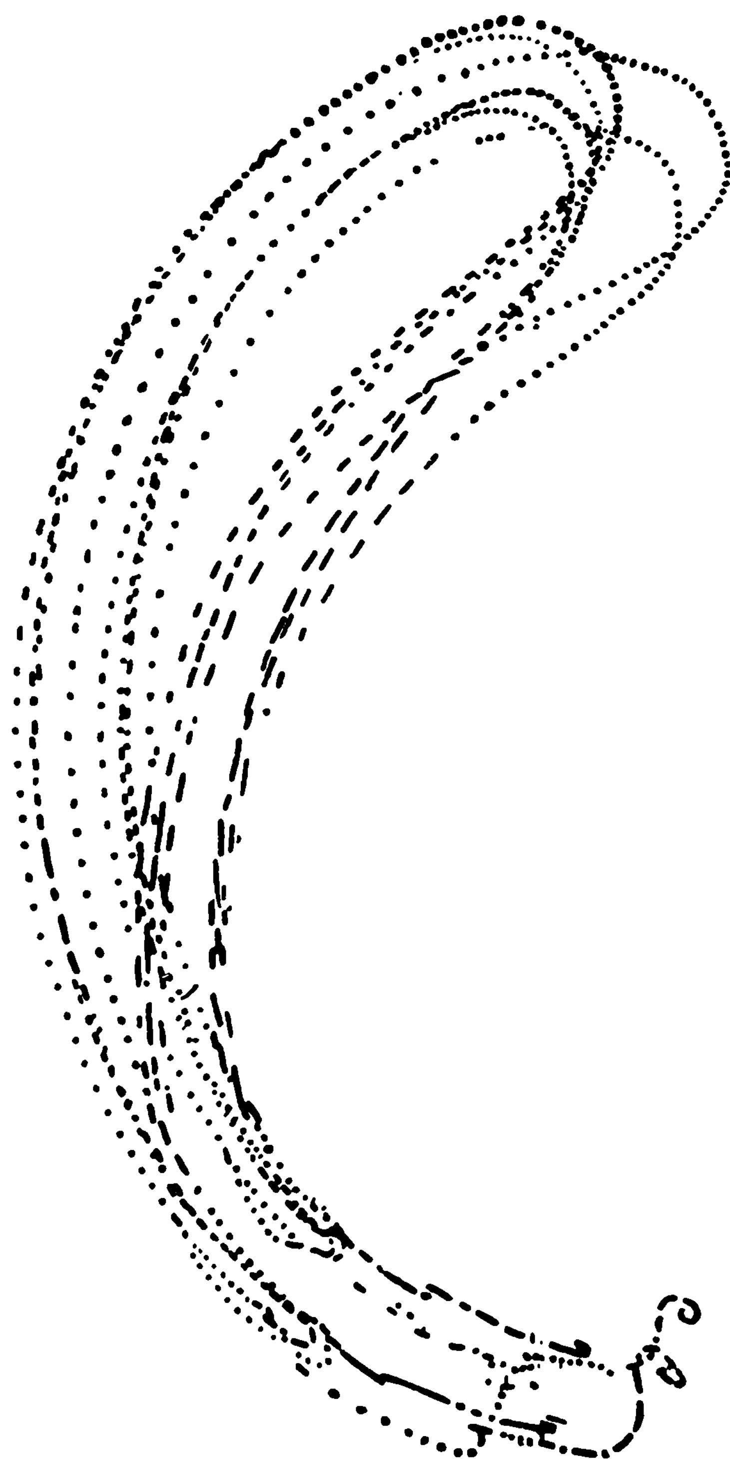


Рис. 63. Циклограмма движения правой руки при рубке зубилом — типического движения пространственного уровня, являющегося фоновой частью двухручного рабочего процесса в уровне предметного действия (работа автора, 1924 г.)

Траектории: *m* – головка молотка, *d* – пястно-фаланговое, *p* – лучезапястное, *c* – локтевое, *s* – плечевое сочленение



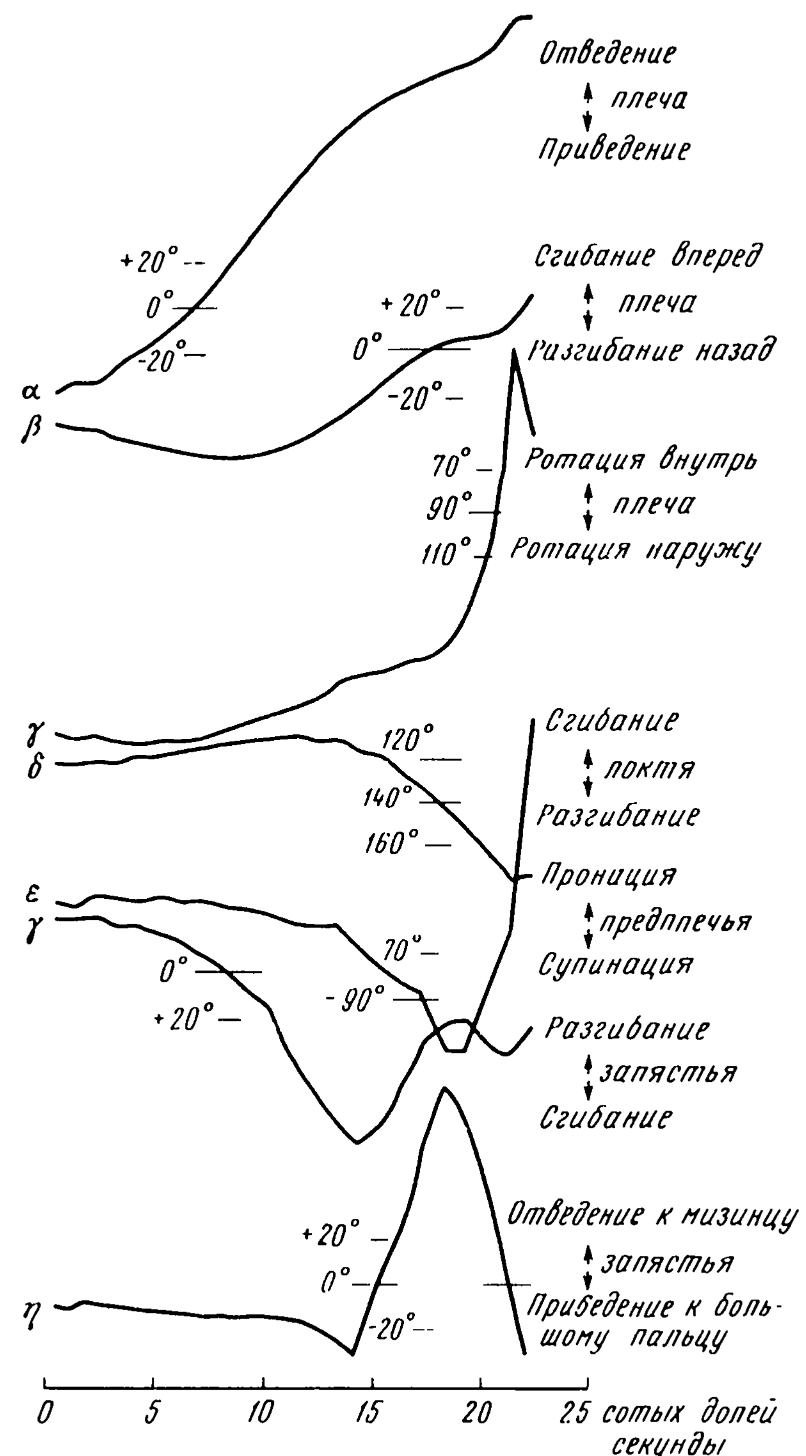


Рис. 64. Серия последовательных вертикальных ударов кузнечной кувалдой, характеризующая высокую автоматизированность и значительную кучность исполнения движения (работа автора, ЦИТ, 1924 г.).

Рис. 66. Кривые угловых смещений звеньев правой руки по степеням свободы в последнюю четверть секунды перед броском гранаты с разбега

Порядок и номенклатура кривых — те же, что на рис. 32. Рисунок обнаруживает начальную, сравнительно медленную часть метательной синергии и резкий типично пирамидный взрыв энергии в течение последних 7—8 сотых секунды перед броском (работа автора, ЦНИИФК, 1940 г.)

V. Переходную группу, не вполне ясную в отношении ее принадлежности к нижнему или верхнему подуровню, образуют *баллистические движения*. Те из них, которые делают преимущественную установку *на силу*, видимо, более тесно связаны с нижним подуровнем *C1*. Сюда относятся силовые ударные и метательные движения: толкание ядра, метание гранаты или связки, диска, молота; удар молотобойца, рывок штанги и т.п. (рис. 64, 66; рис. 65, *не помещен. — Примеч. ред.*). Зрительный контроль в движениях этой подгруппы второстепенен; это подтверждается тем, что перечисленные движения доступны слепому. Другие баллистические движения, имеющие установку *на меткость*, тяготеют к верхнему подуровню: метание копья или мяча в цель; теннис, лапта, городки, крокет; работа жонглера; удар кузнеца или рубщика зубилом; укол штыком и т.д. Все эти движения требуют зрительного контроля и недоступны слепым (рис. 63, 67).

VI. Движения *прицеливания*: наводка зрительной трубы, диоптра, целика, подготовительные движения перед точным уколом (игла, ножка циркуля и т.п.) или разрезом; прицеливание из бьющего вдаль оружия, прицелы на биллиарде, в крокете и т.п.; установочно-выжидательные движения вратаря в футбольной игре; у животных — стойка хищного животного перед прыжком-нападением и т.д. Зрительный контроль с учетом глубины, перспективы, словом, всей дистантной геометрии пространственного поля, существенно необходим для этой группы.

VII. *Подражательные и копирующие движения*: имитация зрительно воспринимаемых движений и действий другого лица; срисовывание (с натуры или с рисунка); изображение предмета или действия жестами (изобразительная пантомима в отличие от полунепроизвольной, эмоционально-выразительной пантомимы уровня синергий); передразнивание и пародирование движений (?) и т.д. Верхний подуровень существенно необходим.

Не будем давать здесь примеров движений, в которые уровень *C* пространственного поля входит *как фон*. Такие движения высших уровней чрезвычайно многочисленны. Дело в том, что уровню пространственного поля недоступно выполнение сложных смысловых действий, которые связаны *с предметом и орудием* (кроме простейших перемещений их); здесь выступает на сцену следующий кверху *уровень действий D*. В вышеприведенном обзоре движений, ведущихся на уровне пространственного поля, мало производственных и трудовых движений и относительно много спортивных и акробатических. Труд же и производство, как правило, имеют дело с предметом и лишь в редких случаях — с пространством и его силовым полем. Естественно, что в инвентаре уровня *C* оказываются преобладающими, во-первых, локомоции, а во-вторых, спортивно-гимнастические процессы. Но трудно было бы насчитать много движений высших уровней, не связанных с уровнем *C* как с фоном, уже потому, что смысловое манипулирование с предметом требует в преобладающей части случаев владения пространством как естественной предпосылки. Как показано ниже, уровень пространственного поля подслаивает эти действия предметного уровня двояким образом: 1) как более или менее самостоятельный фон, обеспечивающий перемещение всего тела, точность и меткость отдельных вспомогательных движений в качестве технических предпосылок для выполнения предметного действия (например ходьба, являющаяся необходимым фоном для таких трудовых операций, как косьба, прокатка стали, работа сцепщика поездов и т.п.), и 2) в уровне пространственного поля формируются по мотивам и побуждениям вышележащего уровня и для его обслуживания специальные фоновые координации — так называемые высшие автоматизмы, или сноровки (Handfertigkeiten, skills), о которых будет речь в гл. VI и VIII.

Остановимся вкратце на явлениях дисфункции рассматриваемого уровня. Если нарушения на рубро-спинальном уровне *A* заслуживали названия дистоний, нарушения в таламо-паллидарном уровне *B* — названия диссинергий, то дисфункции уровня *C* хорошо объединяются под именем *дистаксий*, или *атаксий*, т.е. того, что в просторечии принято называть "нарушениями координации". Все известные в клинике виды атаксий связаны с поражениями афферентаций именно описываемого уровня. Таковы вестибулярная и мозжечковая атаксии; такова, по сути, и табетическая атаксия, хотя она осложняется, как указывалось выше, еще дистоническими нарушениями в уровне *A*. Все эти виды атаксий не затрагивают уровня синергий и не влияют прямым образом на уровни выше *C*, но они резко избирательно нару-

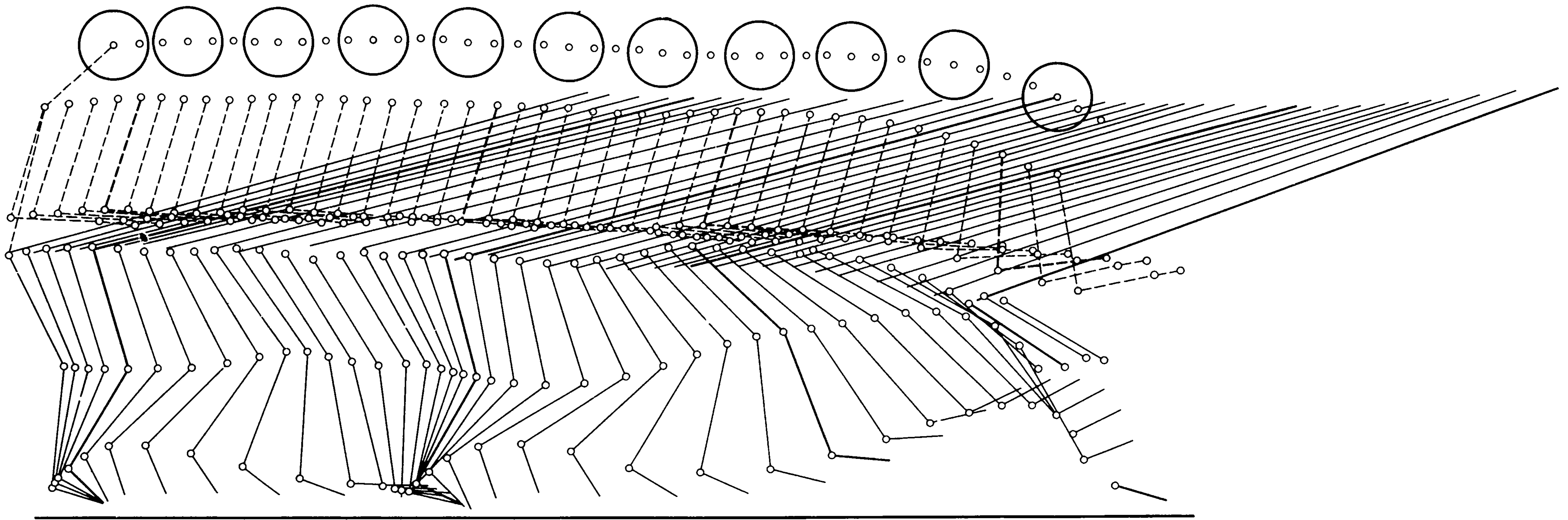


Рис. 67. Фигурки последовательных положений правой стороны тела при уколе штыком
Тип самостоятельного локомоторного фона с "нахлобученным" на него однократным целевым актом в уровне *C2* (работа Л. Осипова, ЦНИИФК, 1940 г.)

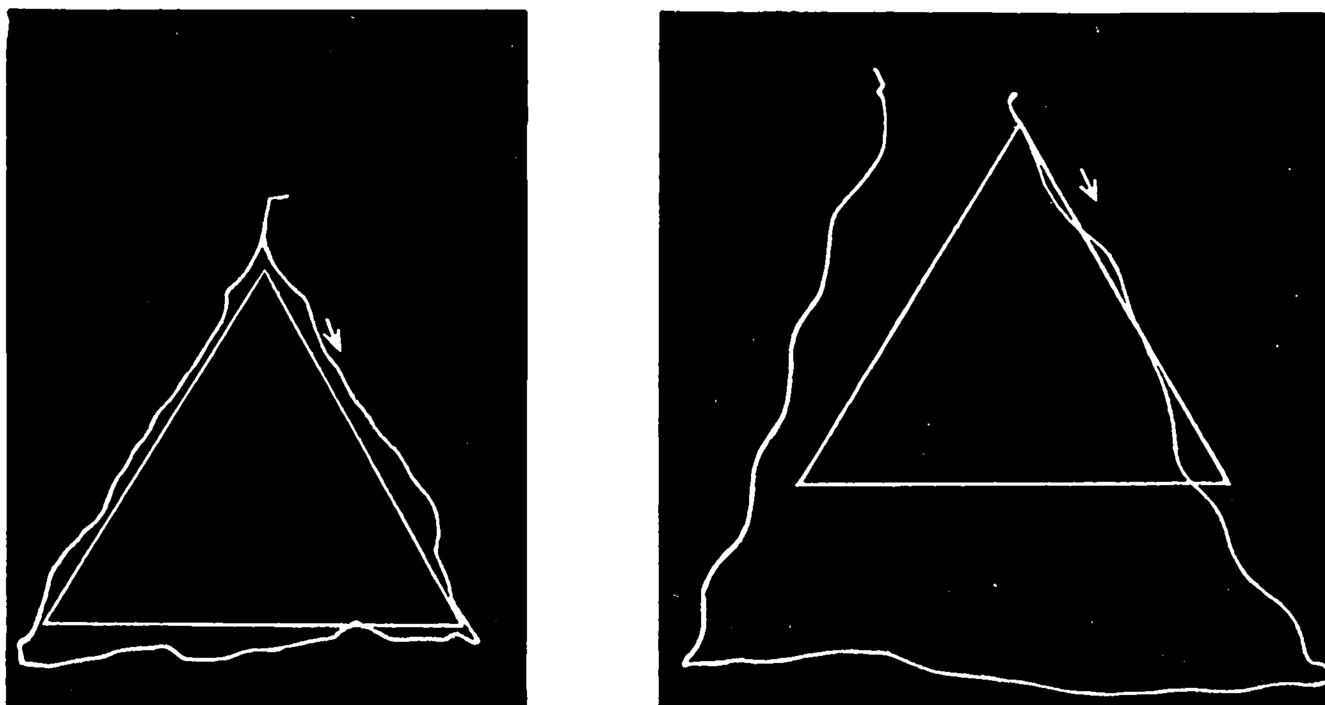


Рис. 68 и 69. Циклограммы ходьбы с завязанными глазами по заданному контуру треугольника

Снято сверху. *Слева* — нормальное выполнение задания в уровне пространственного поля; *справа* — атактическое нарушение ходьбы с гиперметрией (работа Н. Озерецкого и автора, ЦИТ, 1924 г.)

шают пространственную координацию, в первую очередь равновесие, локомоции и точность (меткость). Табетическая атаксия, вызывая побочным порядком синдром дистонии, выбивает до известной степени почву из-под ног и у уровня синергий, опирающегося на эффектор уровня *A* — красное ядро. Движения уровней выше *C* разрушаются вторично постольку, поскольку выпадают имеющиеся почти у всех их технические фоны из уровня пространственного поля. Довольно явственный, хотя и скоро проходящий синдром атаксии может дать недавно наступившая, еще не компенсированная слепота (рис. 68 и 69).

При поражениях на основном эффекторном пути этого уровня — пирамидном пути — первыми вслед за общим шоком выступают спастические параличи, сменяющиеся затем парезами за счет экстрапирамидной (отчасти контралатеральной) компенсации. При этом обнаруживаются избирательные дефекты как раз в областях, причисленных выше к комплексу пространственного поля: выпадение или ухудшение качества точных движений, затруднительность выполнения целевых движений при сохранности движений мимических, выразительных, позных и т.д. При поражениях в эффекторном звене атаксия не проявляется так резко, как при поражениях афферентации (см. гл. IX); но тем не менее, хотя атаксия и зависит в преобладающей мере от афферентации, а не от эффекторики, все же атактический характер пирамидных расстройств бесспорен. Что касается поражений striatum как эффектора, то его выпадения влекут за собой избирательные расстройства движений нижнего подуровня *C1*, обычно заслоняемые явлениями патологической гиперфункции pallidi.

Глава шестая

КОРТИКАЛЬНЫЕ УРОВНИ ПОСТРОЕНИЯ

Теменно-премоторный уровень действий (*D*)

Высшие кортикальные уровни

Все координации и значительная часть движений, описанные в предыдущих главах, принадлежат и животным не в меньшей мере, чем человеку. Более того: на самых различных ступенях эволюционной лестницы позвоночных мы встречаем виды, обладающие более высоким развитием тех или других сторон и проявлений уровня пространственного поля, чем у человека; животных с более резвым и выносливым бегом, лучше лазающих, совершеннее плавающих, нежели человек, обладающих большей коррекционной зоркостью, более тонкой зрительной или обонятельной ориентировкой в пространстве, более метким и точным нападением. Все говорит за то, что кульминационные точки развития по этому уровню уже пройдены. Правда, списки движений уровня пространственного поля у человека богаче, чем у каких бы то ни было животных, но более внимательное рассмотрение, которое отчасти найдет свое отражение и в этой главе, показывает, что многие из этих человеческих движений, якобы из уровня пространственного поля, на самом деле лишь обильно, подавляюще, насыщены фонами из этого уровня, принадлежа по признаку ведущих афферентаций к более высокому уровню построения. В связи с этим отсутствием параллелизма между общим ходом эволюции центральной нервной системы и степенью развития уровня пространственного поля нельзя не отметить, что этот уровень, в сущности, еще не кортикальный. Правда, у человека и высших млекопитающих он связан с корой полушарий, но лишь с самой ее периферией — с пирамидными полями, очень метко названными кем-то "передними рогами головного мозга", и ничуть не хуже работает у тех животных, у которых нет ни коры, ни пирамидного пути.

Наоборот, уровень, о котором идет речь в настоящей главе, целиком кортикален (он, правда, имеет очень разнообразные связи, широко распространяющиеся и на субкортикальные системы, причины чего уяснятся из дальнейшего) и составляет почти исключительную принадлежность человека. Такое резкое отличие его по эволюционному положению от нижележащих уровней подчеркивает огромные, далеко еще недооцененные, принципиальные отличия коры от более древнего ядерного типа организации нервных агрегатов. Уже в гл. I было указано, что головной мозг на очень большом отрезке филогенетической истории выполнял подсобные функции при эффекторах и высших рецепторах, развиваясь у них на поводу, и лишь сравнительно недавно вышел на ведущие позиции. По-видимому, принцип коры открыл совершенно новые, неизведанные возможности. Судя по многим признакам, сейчас происходит (вряд ли уловимый непосредственно, как простой глаз не видит хода часовой стрелки) интенсивный рост биологического примата нервизма, когда головной мозг возглавляет и эволюционно ведет за собой не только всю соматическую систему, но и вообще всю жизнедеятельность, как в норме, так и в патологии. Сама собою напрашивается мысль, что все эти возможности открылись для мозга благодаря коре с ее совершенно особой структурой. Как знать, к чему это поведет в ближайшие миллионолетия?

Излагаемая в этой книге теория координаций основывается на положении, что качественно различные афферентации связанные с различными анатомически локализуемыми образованиями центральной нервной системы, координационно управляют различными группами движений, очень несходными между собой по ряду признаков. Для стволовой и подкорковой части мозга это положение создавало удобные и легко применимые систематизационные признаки, так как там мы находили четко раздельные межу собой афферентационные системы и столь же явственные анатомические, неврональные соотношения.

Наоборот, оба эти признака очень сильно осложняются и делаются расплывчатыми при переходе к кортикальным образованиям. Уже на уровне пространственного поля, афферентация которого захватывает ряд низовых, древнейших полей коры полушарий, мы встретились с очень сложным афферентационным синтезом, чрезывычайно обобщенным и далеким от первичных сензорных элементов. Афферентация более высоких уровней построения движений еще сильнее обобщена, еще дальше отодвинута от первичных рецепций и в еще большей мере опирается на мнестический (сохраняемый памятью) багаж предшествующего опыта. Расчленить афферентационные уровни, а тем более отнести их к определенным кортикальным полям и системам проводящих путей представляется здесь чрезвычайно трудным делом.

С чисто морфологической стороны строение коры полушарий вполне соответствует этой функциональной слитности и обобщенности. В то время как в нижележащих системах мы имеем перед собой раздельные клеточные ядра, связываемые между собой пучками волокон, довольно легко анализируемыми и по их неврональному составу, и по иерархическим взаимоотношениям, кора мозга построена как сплошной слой клеток, простеганный во всех направлениях сплошным же слоем волокон белого вещества. Кроме первичных полей и слоев ("входных и выходных ворот коры") и тесно примыкающих к ним вторичных (как area parastriata, или премоторная зона), все остальные цитоархитектонические отделы коры полушарий не обнаруживают уловимых иерархических соотношений, а может быть, и не имеют их в раз навсегда постоянном виде. Проблема кортикальной локализации бесспорно принадлежит к числу труднейших принципиальных проблем современной неврологии, и это в значительной степени именно потому, что в коре особенно сложны и особенно функционально изменчивы связи и соотношения ее анатомических приборов.

Эта синтетичность функций, слитность морфологического строения и осложненность иерархических взаимоотношений проявляются, конечно, и в том, что уровни построения движений, связанные с корой, оказываются гораздо более неявными, переходящими один в другой и лишь с большим трудом поддающимися описательному вычленению. В некоторых случаях, при анализе некоторых видов движений, явственно обнаруживается наличие целого ряда иерархически подчиненных друг другу уровней, каждый из которых дает себя знать в таком анализе либо своей особой перешифровкой, либо своим особым качеством избирательных патологических нарушений. В других случаях, наоборот, даже расчленение двух четко раздельных уровней невыполнимо с достаточной уверенностью.

Физиологический анализ движений кортикальных уровней находится еще в зачаточном состоянии. Основной материал для анализов этих движений до сих пор дает клиника очаговых поражений головного мозга и, в некоторой малой

степени, опыты с экстирпациями корковых участков у высших обезьян. С этим-то материалом, обладающим всеми принципиальными недостатками материалов клинических выпадений, нам и придется теперь преимущественно иметь дело.

Как следует из всего сказанного, мы не имеем права приписывать намечаемым здесь кортикальным координационным уровням ту же анатомическую и функциональную четкость, какая, естественно, устанавливалась для уровней низовых (впрочем, уже в уровне *C* пришлось выделить два сросшихся между собой подуровня). Может быть, правильнее будет, до последующих уясняющих экспериментов рассматривать описываемые в дальнейшем уровни *D* и *E* как многослойные комплексы уровней с пока не уловимыми, а может быть, и объективно нестойкими подразделениями между ними, но при этом избегать догадок, не оправдываемых имеющимся фактическим материалом.

Описываемый в этой главе уровень *D* почти монопольно принадлежит человеку, недаром именно в нем строятся главнейшие фоны речевых и графических координаций, и явно еще далек от своей кульминации. Он едва-едва представлен в виде единичных проявлений у наиболее высокоразвитых млекопитающих — лошади, собаки, слона; у Брэма можно найти на эту тему много более или менее правдоподобных историй. Даже у высших обезьян процент его очень мал, и (как и у человека в раннем онтогенезе, на втором году жизни) к нему прибегают только после неудачи решить возникшую задачу на более привычных нижележащих уровнях. Эта специфическая присущность человеку описываемого "уровня действии" и явилась причиной того, что он был первоначально нащупан клиницистами в негативной форме выпадений при локализованных определенным образом кортикальных очагах. Надо сказать, что и на человеке экспериментальная физиология до сих пор не может что-либо добавить к фактам, добытым клиницистами, так как раздражение обнаженной коры, регистрация биоэлектрических потенциалов мозга и т.п. не в состоянии пока ничего установить по этому поводу. Мы также возьмем за отправную точку негативное определение, но поставим себе задачу дойти до возможно более ясной *позитивной характеристики* анализируемого уровня.

Для всех очень многообразных и разнохарактерных клинических картин двигательных нарушений в уровне действий (эти картины объединяются под общим названием *апраксий,* хотя удачнее было бы называть их диспраксиями) характерно не только отсутствие каких-либо стойких моторных выпадений — параличей, парезов и т.п., но и каких-либо стабильных расстройств координации в общеупотребительном значении этого слова. При апрактическом нарушении страдает *не координация двигательного акта, а его реализация.* При наличии полного понимания сути и смысла возникшей двигательной задачи (этим апрактик отличается от агностика, у которого подвергается распаду самое осмышление задачи) утрачивается тот мостик, который ведет от восприятия задачи к ее двигательному решению. Апрактик не безрук — он только беспомощен. В противоположность атактику с распадом уровня пространственного поля, которого не слушаются собственные руки, больному описываемой категории (в случае, не осложненном привходящими фоновыми нарушениями) покорны все органы, но он сам не умеет сделать посредством их ничего, что выходило бы за пределы элементарных двигательных комбинаций, доступных и высшим животным. При этом пациент безнадежно теряет способность к приобретению или восстановлению умений и навыков, сколько-нибудь превышающих эти элементарности. Правильно осмысляя

задачу, апрактик не заблуждается и относительно своего неуспеха в ее решении: как правило, он недоволен собой, отличаясь этим от тех душевнобольных, у которых подобный же неуспех бывает связан с утратой критической оценки своих действий. Итак, на фоне сохранности как активной подвижности, так и элементарной кинетической управляемости моторной периферии, при отсутствии каких-либо грубых потерь в силе, скорости, точности движений и т.п., налицо факт выпадения огромных контингентов двигательных актов и их усвояемости.

Обширные клинические наблюдения над больными этого рода, восходящие еще к Nothnagel и H. Jackson и в первые глубоко проанализированные Liepmann в 900-х годах, позволяют прежде всего выделить в качестве особого координационного уровня класс *действий* (иначе — предметных действий, смысловых цепей и т.п.). Это выделение вполне оправдывается четкой избирательностью выпадений двигательных актов этого класса при кортикальных болезненных или травматических очагах с различными, но вполне определенными локализациями. Анализ того, что теряется при таких очагах в области двигательных координаций, а что сохраняется без ощутимых изменений, позволяет отграничить *уровень действий* от ранее описанных уровней и наметить его важнейшие позитивные отличительные особенности.

Невозможно было бы говорить о кортикальной локализации этого уровня, не разбередив попутно всю сложную проблему кортикальных локализаций в ее целом. Все, на что мы можем быть сейчас уполномочены, — это на выделение тех полей коры, без которых нормальное функционирование уровня действий невозможно и поражения которых вызывают очерченные выше синдромы апрактических расстройств. Как общее правило, факты связи определенных локальных поражений в коре полушарий с определенными же функциональными синдромами выпадений доказывают только, что эти особые места поражений являются *пунктами обязательного транзита* данной формы нервного процесса — узловыми станциями, без прохода через которые эта форма нервного процесса не имеет возможностей к реализации. Только такие пункты обязательного транзита, очевидно, соответственно "входные" и "выходные ворота" нервного процесса данного уровня, и могут быть сейчас указаны для локализации уровня действий. Характерным образом эти поля группируются в двух участках каждого полушария, довольно далеко отстоящих друг от друга. Одна группа располагается в *нижних отделах теменной доли* полушария, занимая срединное положение между сензорными полями зрительных (затылочная доля) и слуховых восприятий (височная доля) и полями синтетической танго-рецепторики (задняя центральная извилина), равно как и примыкающими к ним интермедиарными зонами. Вторая группа полей этой системы помещается непосредственно кпереди от двигательного пирамидного поля 4; ее называют обычно *премоторной зоной* (группа *6a* и *6b* Brodmann). К нижней границе премоторной зоны примыкает вплотную поле "двигательного центра речи" Брока (рис. 47, 70—72).

Первая группа полей тесно связана и анатомически, и функционально с *афферентационными,* первичными и вторичными, полями осязания, слуха и зрения, между которыми она и залегает. Что касается премоторных полей, то их функциональная близость к *эффекторике* доказывается уже тем, что электрические раздражения обнаженной поверхности коры в их области дают *движения* отдельных частей тела, чего никак не получается при раздражениях в теменной

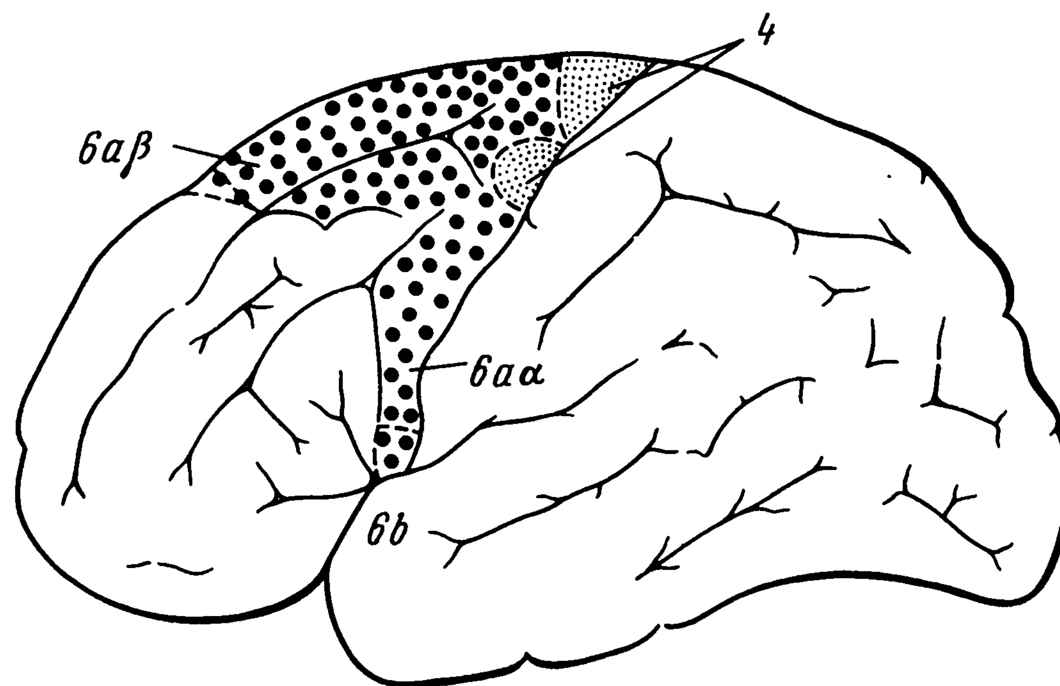


Рис. 70. Схема расположения на полушарии пирамидного поля 4 и премоторных полей *6* (по О. Foerster)

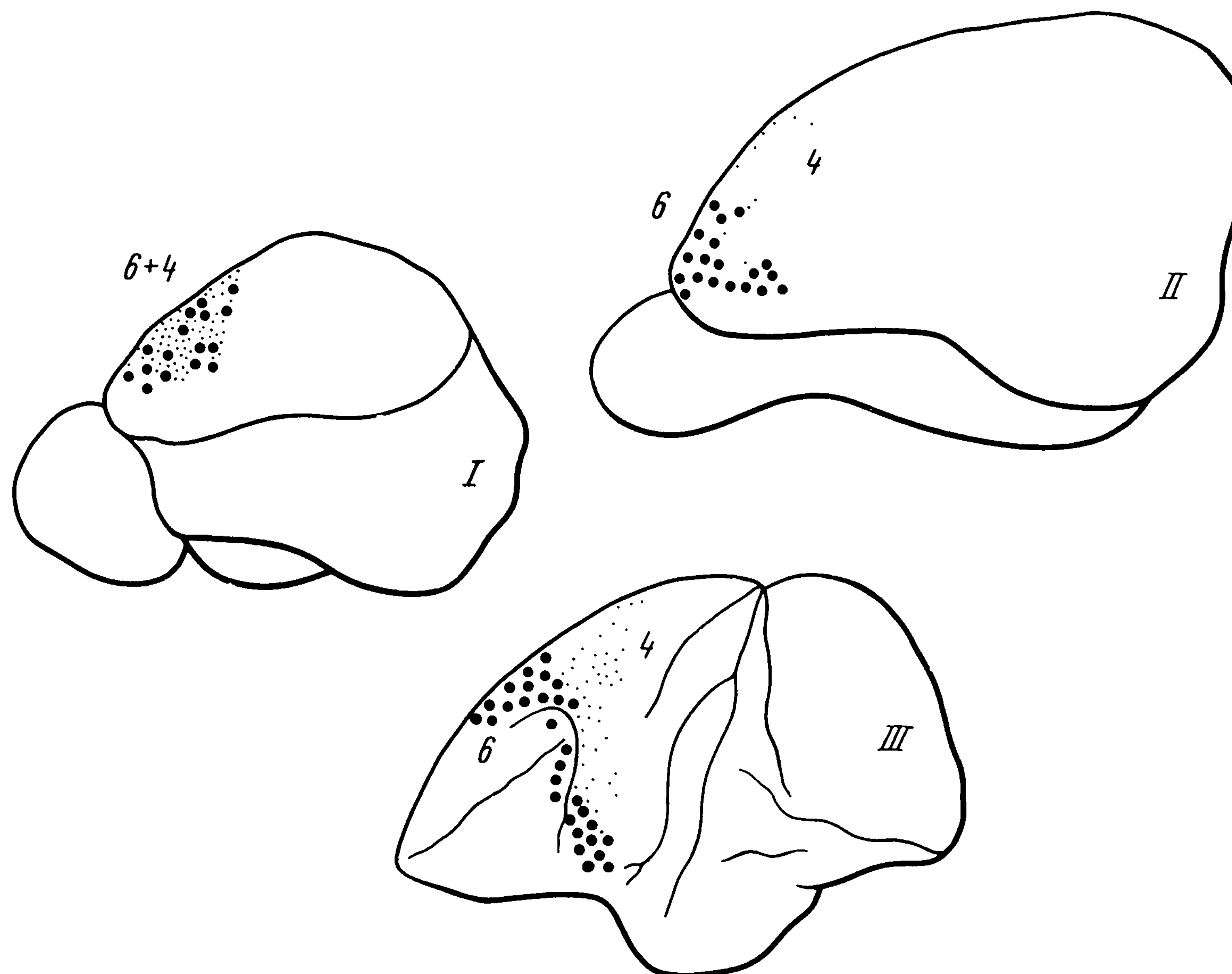


Рис. 71. Расположение на полушарии пирамидных полей *4* и премоторных полей *6* у разных животных и их постепенная филогенетическая дифференциация
I — еж; *II* — кролик; *III* — мартышка (по О. Foerster)

области. Эффекты раздражения премоторных полей отличаются от эффектов прямого раздражения пирамидной зоны более высокими порогами, ярко выраженными явлениями суммации раздражений, облегчения и остаточного разряда, значительной временной задержкой наступления двигательной реакции на раздражения и, наконец, тем, что возникающие в результате их двигательные ответы не являются изолированными эффектами с одной мышцы или узкой мышечной группы (как при раздражениях пирамидной зоны), а представляют собой уже своего рода обломки целостных движений, синергетически вовлекающих в

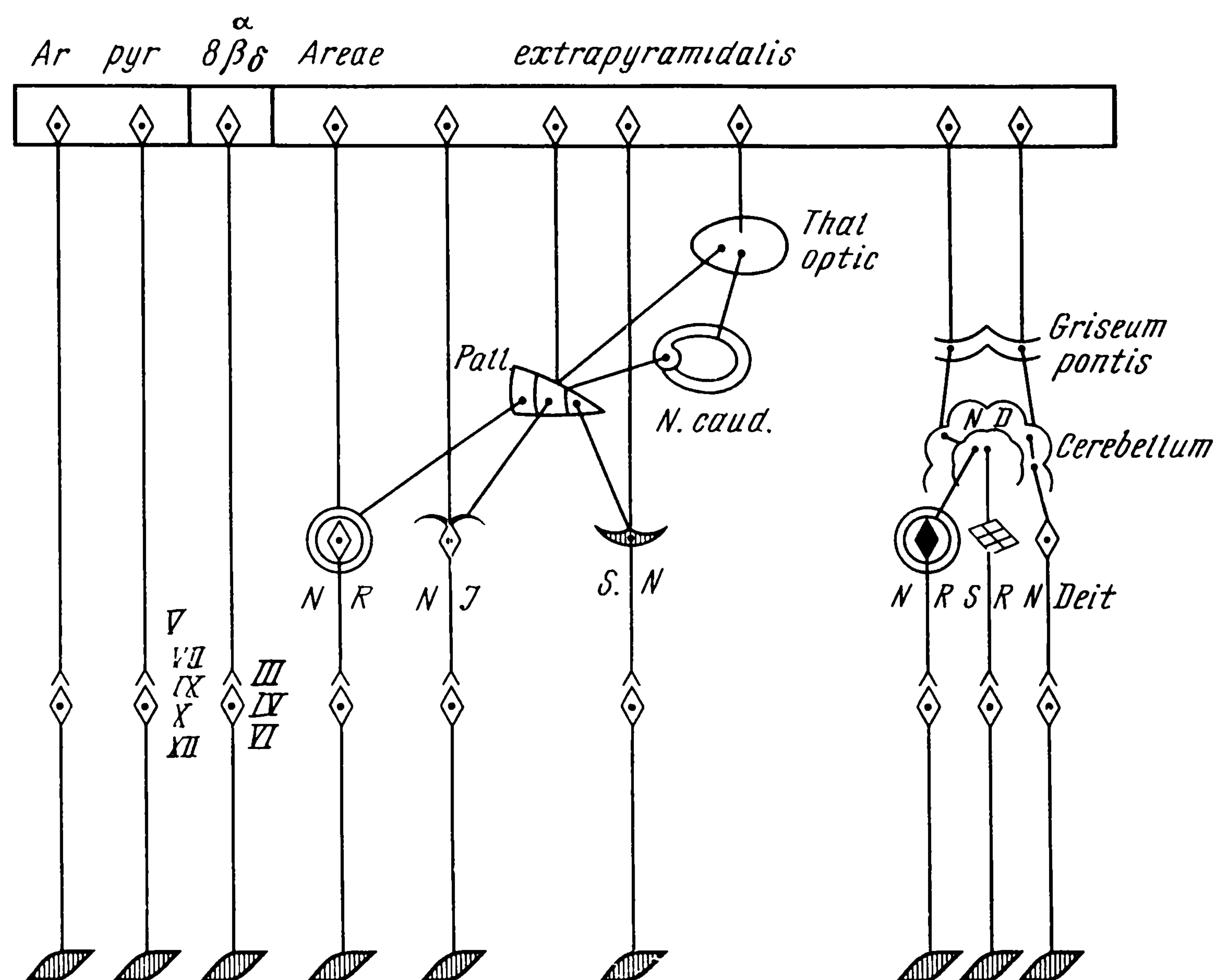


Рис. 72. Схема связей коры большого мозга с подкорковыми ядрами (по O. Foerster)
Верхняя полоска — кора, *внизу* — периферические мотонейроны, соединенные с мышечными единицами, — мотоны. Римские цифры от *III* до *XII* — ядра черепно-мозговых нервов. *N.R.* - красное ядро; *N.J.* - ядро Льюиса; *S.N.* - substantia nigra; *N.D.* - зубчатое ядро мозжечка; N. Deit — ядро Дейтерса; N. caud. — хвостатое ядро (striatum); Pall. — pallidum

реакцию как взаимно антагонистические, так и протагонистические мышечные группы. O. Vogt нашел, что надрез коры вдоль границы между премоторными и пирамидными полями немедленно снимает эти эффекты, т.е. что двигательные реакции на раздражения премоторных полей *возможны не иначе, как транзитом с премоторного поля* на пирамидную систему и пирамидный эффекторный путь. Миэлоархитектонические исследования проводящих путей головного мозга показали, однако, что премоторные поля имеют связи не только с пирамидными полями коры, но и с паллидумом и даже с низовой ядерной группой экстрапирамидной эффекторной системы (см. рис. 72) (относительно связей со striatum вопрос еще не достаточно ясен). Таким образом, премоторные поля эффекторны и по местоположению, и по связям, и по эффектам экспериментальных раздражений, но в то же время не представляют собой эффектора не только прямого и ясного типа, как, например, гигантоцеллюлярный пятый слой пирамидного поля, но и осложненного иерархической многоэтажностью, как striatum. Тем не менее, как будет показано ниже, то, что распадается при теменных очагах, явно представляет собой афферентационные функции sui generis, а те отправления, которые испытывают наиболее яркий ущерб при разрушении премоторных полей, очень близки по своему смыслу к эффекторике, но только раскрывают это понятие в совсем новом и своеобразном содержании. Положение премоторных полей

в функциональном отношении напоминает положение полей 18 и 19 зрительной области: это, так сказать, вторичные эффекторные зоны.

Очерк локализации кортикальных аппаратов уровня действий страдал бы существенным пробелом, если бы мы не упомянули здесь же еще об одной важной ее черте. Необходимой зоной для обеспечения отправлений уровня действий является *левая* нижне-теменная область, связанная по закону, общему для всей коры полушарий, *с правой стороной тела.* В прямой связи с этим в уровне действий впервые отчетливо проступает неравнозначность обеих сторон тела, т.е. праворукость (или леворукость). В уровне пространственного поля, а еще более в нижних уровнях *B* и *A* эта функциональная неравнозначность незаметна[1]. Как было указано в предыдущей главе, для движений уровня пространственного поля очень легко осуществляется викарная подстановка одной руки вместо другой. В уровне действий и общая сноровка каждой руки, и наделенность их теми или другими частными приобретенными при жизни навыками могут быть очень разными по качеству и составу, что может пригодиться как вспомогательный признак для распознавания принадлежности двигательного акта к уровням *C* или *D*: навыки, относящиеся к уровню действий и опирающиеся на его ведущие афферентации, не дают, как правило, легких переносов или викариатов из одной руки в другую.

Обращаемся к функциональному анализу описываемого уровня. Как и в предшествующих разделах, мы дадим вначале характеристику его афферентации, затем общий очерк определяющих свойств его двигательных отправлений, и только обзор характеристических функциональных выпадений будет целесообразнее в очерке данного уровня предпослать перечню его нормальных целостных двигательных актов.

Ведущая афферентация уровня действий *D* есть предмет. Очевидно, причисление предмета к разряду афферентаций подразумевает очень широкую трактовку последнего термина. Психологический образ предмета представляет собой результат гораздо более глубоких обобщений и гораздо более сложной синтетической связи между сензорными и мнестическими составляющими, нежели синтез, описанный в предыдущем разделе под названием пространственного поля.

Ведущим мотивом в уровне действий является собственно не предмет сам по себе, как геометрическая форма, как нечто с определенной массой, консистенцией и т.п. (см. об этом ниже), а *смысловая сторона действия с предметом* — все равно, фигурирует ли предмет в этом действии как его объект или еще и как его орудие. Именно этот мотив разрушается при так называемой агностической (иначе — идеаторной) апраксии, о которой будет подробнее сказано в последующем тексте. Афферентационными системами описываемого уровня являются те функциональные системы, которые осмысляют чувственно предъявленный предмет и определяют, что именно и в каком цепном порядке можно и нужно делать с этим предметом.

Для последующего анализа целесообразно ввести два понятия, созданные

---

[1] Как будет подробнее показано в гл. VII, в результате резкого преобладания у взрослого человека уровня действий и его двигательных контингентов над всеми другими уровнями построения постепенно создается общий перевес развития доминантной стороны двигательного аппарата над субдоминантной: перевес силы, быстроты и т.п. правой руки над левой, что сказывается затем уже вторичным порядком и на движениях низших уровней.

невропатологами и обладающие несомненной эвристической ценностью: понятия *смысловой структуры* действия и его *двигательного состава.* Смысловая структура двигательного акта определяется содержанием возникшей задачи и, в свою очередь, сама определяет тот сензорный или сензорно-гностический синтез, который адекватен задаче и может обеспечить ее разрешение, и тем самым определяет и созвучный этой задаче ведущий уровень построения. Двигательный состав действия есть уже результат столкновения между собой, как бы итог подстановки в некоторое общее уравнение, двигательной задачи и кинетических возможностей, находящихся в распоряжении организма для ее решения. Двигательный состав включает в себя и перечень последовательных элементов цепи, если речь идет о цепном действии, и определение двигательных приемов, соответствующих этим элементам, и фоновый состав симультанных компонент сложного движения. Двигательный состав определяется и биомеханическим устройством рычагов и кинематических цепей тела, и иннервационными ресурсами, и фактическим инвентарем сензорных коррекций и, наконец, орудием, которое может быть применено для выполнения потребовавшегося действия. Таким образом, двигательный состав есть функция как задачи, так и ее исполнителя. Одну и ту же задачу быстрого перемещения в пространстве человек решает спринтом (или велосипедной ездой и т.п.), лошадь — галопом, птица — полетом и т.д. Выявление и формирование двигательного состава движений и действий рассматриваются в гл. VIII.

После этого небольшого отступления обратимся к смысловой структуре действий рассматриваемого здесь класса, поскольку она самым непосредственным образом связана с афферентационной стороной работы уровня, так же как двигательный состав действий неразрывно слит с его эффекторной частью.

Название "предметных действий", часто присваиваемое смысловым цепям уровня *D*, несомненно, оправдано подавляющим процентом в этом уровне актов, имеющих по самому их существу дело с предметом. В этом проявляется характерное для психологической иерархии уровней постепенное возрастание их объективации, направленности на активное, изменяющее мир взаимодействие с последним. Предметность как свойство координационных контингентов движений неуклонно "энцефализируется". В удел низовым уровням параллельно с переходом их во все возрастающей мере на служебные, фоновые рельсы достаются преимущественно "проприомоторные" движения и компоненты, обуздывание и мобилизация собственного тела, представляющего по мере увеличения его подвижности и возрастания утонченной сложности предъявляемых к нему требований все большие трудности для управления. Бесспорно и то, что сами по себе контингенты движений становятся по ходу эволюции все более предметными; роль *руки* в этом процессе оттенена в достаточной мере основоположниками современного научного мировоззрения. Предмет фигурирует в двигательных актах уровня действий и как объект для манипулирования с ним, и как орудие действования, и, наконец, как символ, облегчающий и конкретизирующий отвлеченные действия: чертеж, шахматная фигура, написанная буква или иероглиф и т.д. Несомненна, впрочем, принадлежность к этому же уровню и целого ряда совсем беспредметных действий (если только не расширять до неимоверности пределы понятия предмета): спортивных игр, тактических боевых действий и т.п.

Большой интерес для учения о координации представляет далеко еще недоисследованная особенность предметных действий, выражающаяся в ведущей

роли, захватываемой предметом при подобных действиях, и свидетельствующая о чрезвычайно глубоких, всецело ускользающих от сознания, координационных перешифровках. Когда предмет фигурирует в качестве инструмента при высокоавтоматизированной привычной работе, он прямо переживается исполнителем действия как органическая часть собственного тела, вплоть до иллюзии активного, ведущего управления движениями, как будто бы исходящего из этого инструмента.

Предмет сам по себе существует в пространстве и во времени. Точно так же и смысловая сторона действования с этим предметом содержит в себе смысловое восприятие и расчленение *пространства,* в котором организуется действие, и синтетическое переживание времени, в котором строится последовательность и смысловая связь элементов цепного действия. Афферентация уровня действий включает в себя и синтетическое пространство, и синтетическое время, но в совершенно другом виде, с другими характеристиками, нежели те, с какими они встречались на нижележащих уровнях построения. Очерк изменений и осложнений обеих этих психо-физиологических категорий при восхождении к уровню действий поможет яснее выделить их особенности, присущие этому уровню.

Уже в предыдущем разделе была рассмотрена *эволюция синтеза "пространства"* от самых низовых уровней до верхнего подуровня пространственного поля. Подробно проанализированное там пространство этого последнего подуровня, полностью экстраецированное, метричное (т.е. наделенное *масштабом*) и геометричное (т.е. содержащее компоненты геометрической *формы* и геометрического *подобия*), представляет собой самое объективированное из "пространств", присущих различным уровням простроения движений. Оно опирается на филогенетически наиболее новую и наиболее совершенную рецепторику по сравнению с нижележащими уровнями и притом строится в самых периферических системах коры по сравнению с вышележащими уровнями, уже более абстрагированными и более далекими от первичного сензорного материала.

Пространство, в котором организуются предметные действия, обладает целым рядом особенностей, оказывающих влияние не только на структуру общего ведущего афферентационного синтеза этого уровня, но и на само координационное построение протекающих в нем движений. Уже на уровне *C2* наметился отрыв от несмещаемой координаты (возможность срисовывания вместо обрисовывания по типу *C1*) и от неизменного масштаба (появление подобия вместо конгруентности, характерной для *C1*). На уровне действий абстрагирующее преобразование пространства идет еще дальше. Вместо геометрической формы появляется *схема, т.е. метрические, размерные соотношения заменяются топологическими, качественными соотношениями.* Пространство предметного уровня теряет в конкретности, но зато выигрывает в упорядочении, осмыслении, выделении существенного по сравнению с уровнем пространственного поля. В нем выделяются и организуются качественные понятия замкнутой и разомкнутой фигуры, представления "над" и "под", "вне", "внутри", "между" и т.п. Происходит то, что психологи называют категориальной организацией пространства, и то, что обозначается нами здесь как возобладание топологической смысловой схемы над геометрической формой.

Во всяком геометрическом образе мы можем различать *его топологию* и *его метрику.* Топологией геометрического объекта следует называть совокупность его *качественных* особенностей, вне зависимости от его величины, формы, той или

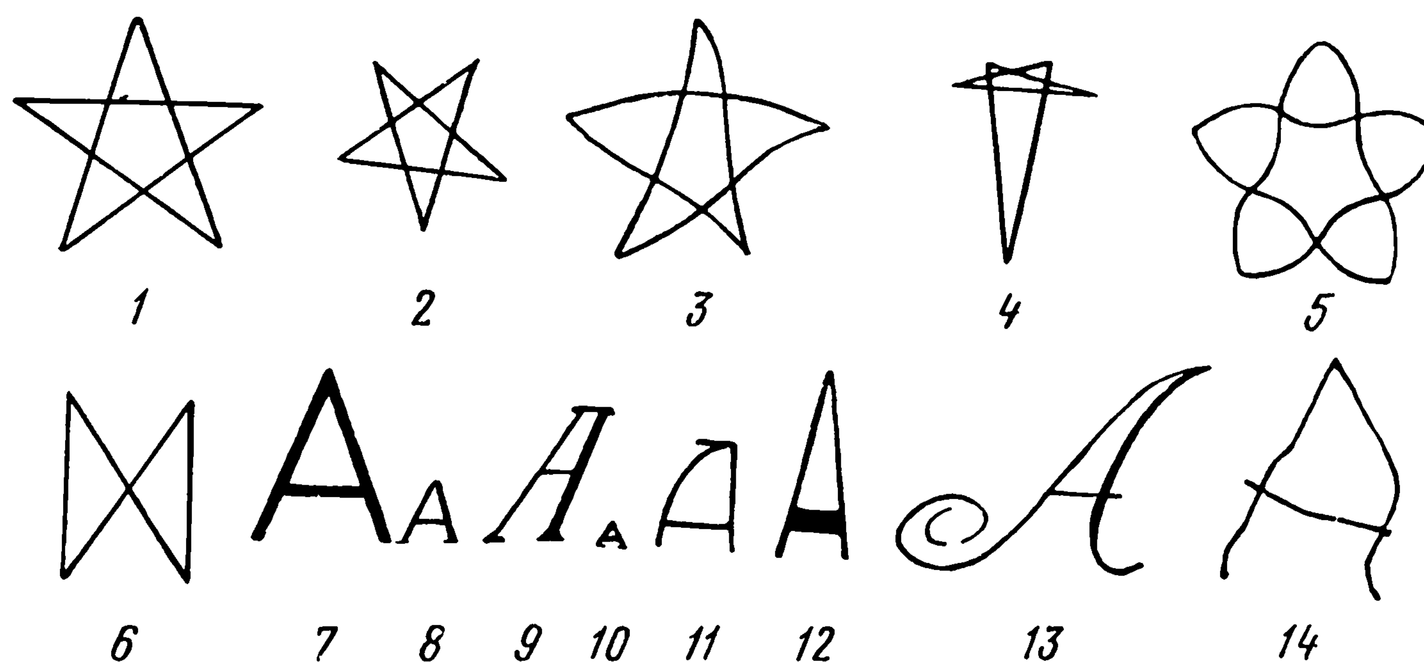


Рис. 73. *Наверху* — ряд разновидностей топологического класса пятиконечной звезды; внизу — одна замкнутая фигурка, не принадлежащая к этому классу, и серия представителей топологического класса буквы *А*

иной кривизны его очертаний и т.д. К топологическим свойствам линейной фигуры нужно относить, например, следующие: замкнутая это фигура или незамкнутая, пересекают ее линии сами себя, как в восьмерке, или не пересекают, как в окружности, и т.д. Кроме этих свойств, лишенных в своем определении какого бы то ни было признака количества, мы должны будем в нашем аспекте отнести к топологическим свойствам и такие, которые включают в себя *число*, по-прежнему не включая, однако, никакой *меры*. К таким свойствам можно отнести, например, четырехугольность, принадлежность к типу пятиконечной звезды и т.п. Все фигуры верхнего ряда на рис. 73 принадлежат к одному и тому же топологическому классу, будучи при этом совершенно несходными между собой в отношении метрики. Действительно, все они имеют по пяти углов, или лучей, все содержат по пяти пересечений составляющих их линий и т.д. Фигура *6* того же рисунка относится уже к другому классу, содержа четыре угла и одно пересечение, обладая в то же время общностью с первыми пятью фигурами по признаку замкнутой фигуры с пересекающимися линиями. Для характеристики топологических свойств этого рода на знакомом и привычном примере следует указать, что *каждая буква печатного шрифта* есть отдельный топологический класс, причем к единому классу буквы "А" принадлежат, очевидно, прописные буквы "А" всех размеров шрифта, очертаний, гарнитур и т.д., если только пренебречь некоторыми добавочными черточками чисто каллиграфического значения. Нарисованные мелом фигуры "игры в классы", каждую весну во множестве появляющиеся на тротуарах, — тоже представители одного и того же топологического класса для каждой разновидности игры, и при этом совершенно независимо ни от масштаба рисунка, ни от уменья рисовавшего. Привычная схема, по которой данный ребенок рисует "дом" или "человека", также обычно есть определенный топологический класс — и не более того.

Именно эти-то категории, целиком принадлежащие топологии, а не геометрической метрике, определяют собой свойства пространственного синтеза уровня *D*. Как раз очень выразительным проявлением примата топологической схемы над формой в описываемом уровне служат элементы двух характернейших его отправлений: буква в ее написании и речевой звук в его фонетической реализа-

ции. Обращаясь к *букве* как объекту, более осязаемому и удобному для характеристики, отметим, что не только ее смысловая суть зависит исключительно от топологии взаимного расположения ее штрихов, а не от геометрических признаков, но и *движения* при ее написании столь же топологичны, не связаны ни с метрикой размера, ни с метрикой формы и геометрического подобия.

В связи со сделанным выше анализом эволюции афферентационного пространства, стиль которого на каждом из уровней через сензорные коррекции определяет и стиль получающихся на нем движений, заслуживает внимания одно интересное явление. Выше уже было указано, что автоматизация движения состоит в переключении ряда координационных фоновых компонент движения в нижележащие уровни, что связано и с их переключением на другие *афферентации*. Отсюда следует, что в частном, но очень распространенном случае автоматизации фоновых компонент вниз, на уровень синергий, эта автоматизация должна сопровождаться заменой зрительной афферентации на осязательно-проприоцептивную, т.е. *выключением зрительного контроля* над соответствующей компонентой. Логика требует, если наша обобщенная трактовка автоматизации верна, чтобы существовали и такие случаи автоматизации (на этот раз связанные с передачей из *уровня действий* вниз на уровень пространственного поля), при которых ее наступление сопровождалось бы не снятием, а, наоборот, *включением* зрительных коррекций. Действительно, такие случаи существуют. Нормальный взрослый с обычным для нормы резким преобладанием предметного уровня рисует всегда схемы, а не формы — то, что он осмысляет и обобщает, а не то, что он видит. Поэтому человеку, обучающемуся рисовать, приходится учиться видеть окружающий мир таким, каким он фактически рисуется на его сетчатке, учиться смотреть на натуру и воспроизводить ее в правильном освещении и перспективе, а не осмыслять натуру и рисовать вместо нее идеограммы, как делают все, не умеющие рисовать. Приобретение уменья или навыка рисования с натуры — очень показательный случай такой автоматизации процесса, строящегося на уровне действий, самая суть которой как раз и состоит в уменье включить оптический контроль. Разумеется, он используется у умелых рисовальщиков бессознательно, как это и подобает всякому автоматизированному акту[1].

Не умножая примеров, необходимо прибавить к характеристике пространственного синтеза уровня действий еще только две вещи.

Во-первых, не только в плане афферентации, но и в плане управляемой ею эффекторики пространство уровня D строится по принципу топологической

---

[1] Художник И. Грабарь сообщает в своих воспоминаниях о натурном классе Академии художеств очень характерный эпизод: "Одному из рисовавших здесь Павел Петрович (известный художник-педагог П.П. Чистяков) упорно не хотел давать указаний, избегая заглядывать в его рисунок. Тот решился, наконец, спросить, почему он ему не скажет чего-нибудь, и получил такой ответ:

— Да что говорить-то? У вас есть дома прислуга?

— Есть.

— Ну больше ничего и не надо. Возьмите натурщика, посадите прислугу сзади себя и только велите через каждые пять минут повторять: "Барин, поглядите на натуру". Только и всего. Мигом она вас научит. А то ведь вы все от себя рисуете, на натуру-то и не смотрите" (*Грабарь И.* Моя жизнь. М., 1937. С. 101).

Если такие замечания возможны в натурном классе Академии художеств, да еще в эпоху самого разгара реалистических устремлений в живописи, то что же говорить о простых смертных?

схемы, а не геометрической формы. Это не значит, конечно, что движения, поднявшиеся до этого уровня, обязательно перестают быть метричными, а значит только, что *все, вносимое в движения этим уровнем, топологично, а не метрично.* Если в уровне действий встречаются метричные движения, это говорит о том, что в них для обслуживания какой-либо фоновой компоненты участвует уровень пространственного поля. Но разница с самостоятельными движениями в уровне *С* та, что эти последние движения не могут не быть метричными (иначе это уже распад уровня *С*, атаксия), тогда как двигательные акты уровня действий не метричны, как правило, и метричны только в упомянутых частных случаях. Почерк не метричен — об этом уже упоминалось. Не метрично снимание шляпы, закуривание папиросы, изображение домика или человека. По самому глубокому своему существу топологично, а не метрично завязывание и развязывание узла, надевание резинового колечка на коробку, набирание кружкой воды из водовместилища и т.п. Во всех этих случаях вопрос об успехе движения решается по его качественному (топологическому), а не метрическому результату: узел вышел или не вышел, колечко наделось или прошло мимо, кружка попала в ванну или нет, пролила набранную воду или нет и т.п. Поэтому получается, что у атактика, испытавшего распад уровня пространственного поля, значительная часть движений уровня действий не гибнет, и страдают только те предметные действия, которые существенно нуждаются в метрических фонах из уровня *С*.

Во-вторых, описанное сейчас качественное, смысловое преобразование пространства, свойственное уровню действий, тесно связано с формированием самого *понятия предмета.* Оно совершается не беспричинно и абстрактно, а представляет собой одну из сторон эволюции геометрического (зрительного или осязательно-проприоцептивного) образа — цветного, весомого, смещаемого и т.п. — в обобщенный смысловой образ вещи или предмета. Для геометрического образа существенна его форма и метрика; для предмета то и другое весьма второстепенно. Бесспорно, метрика является определяющей для таких предметов специального назначения, как линейка, лупа, лезвие ножа, транспортир. Но что существенно, например, для чашки как объекта для смысловых манипуляций? Ни ее ширина, ни высота, ни обладание круглой или квадратной формой не имеют существенного значения; ей важно иметь сплошные стенки, целое дно и ручку — все признаки чисто топологические. По этим признакам каждый ребенок осмыслит чашку, даже если перед этим он никогда не встречал чашек с подобной метрикой, и сумеет правильно применить ее по назначению. Что существенного содержится в метрике таких предметов, как бутылка, вилка, шпилька, молоток, пуговица, карандаш? Конечно, каждый из нас испытал бы мало удовольствия, если бы его обули только в топологический, но не метричный ботинок, — но уже было упомянуто о значимости в некоторых ситуациях метричных фонов.

Время проделывает не меньший путь развития от уровня к уровню, но его эволюция изучена меньше. В уровне синергий оно всего яснее проступает как ритм (т.е. как временной узор); в уровне пространственного поля — как момент (например, при прицеливании), синхронность, длительность, скорость. В уровне действий оно выступает как смысловая или причинная последовательность; как связь сукцессивных элементов цепи, из которых слагается действие. Время организуется в предметном уровне тоже не метрически, а топологически или категориально: в нем откристаллизовываются элементы "прежде", "потом", "post hoc" и "propter hoc".

Эволюция взаимоотношений пространственных и временных синтезов с афферентными и эффекторными системами соответственных уровней складывается существенно по-разному. Пространственные синтезы на всех уровнях теснее связаны с афферентацией. На уровне *С* они образуют объективированное внешнее поле для упорядоченной экстраекции чувственных восприятий. На уровне действий они создают предпосылки для смыслового упорядочения мира, помогая вычленению из него объектов для активных манипуляций. Так из афферентации вырастает (субъективное) пространство, из пространства — предмет, из предмета — наиболее обобщенные *объектные понятия.* Наоборот, временные синтезы на всех уровнях стоят ближе к эффекторике. На уровне синергий они влиты в самый состав движения, воплощая его ритмовую динамику. На уровне пространственного поля они определяют скорость, темп, верное мгновение для меткого активного реагирования. На уровне предметного действия время претворяется уже в смысловую связь и цепную последовательность активных действий по отношению к объекту. Из *эффекторики* вырастает таким путем (субъективное) время, из времени — смысловое действование; из последнего на наиболее высоких уровнях — поведение; наконец, верховный синтез поведения — личность или *субъект.* Здесь представляет бесспорный интерес то обстоятельство, что, согласно закону Bell и Magendie, не только у древнейшего (спинного и стволового) мозга афферентационной стороной является его *спинная* (у человека — задняя) сторона, но и кортикальные поля, как связанные непосредственно с сырой рецепторикой, затылочные, височные и заднецентральные, так и интермедиарные поля теменной доли, связанные со смысловой организацией категорий пространства и объекта, заполняют собой *задние* же половины больших полушарий. Таким образом, эволюционная цепочка "афферентация — пространство метрическое и топологическое — вещь — объект в его наивысшем обобщении" с самого начала и до конца остается связанной с задними отделами мозга. Наоборот, цепочка "эффекторика — время — субъект" точно так же на всех уровнях проявляет более близкое системное сродство с *передними,* эффекторными отделами мозга и сильнее дезорганизуется при соответственно локализованных болезненных очагах. Это своеобразное развитие и продолжение закона Bell и Magendie находит свое отражение и в локализации рабочих аппаратов уровня действия, как будет вскоре показано.

Точно так же, как пространство и время, *предмет* не впервые появляется на сцену в двигательных актах уровня действий. Наоборот, взаимоотношения движущегося органа с предметом имеют по необходимости место на всех уровнях построения, но только строятся во всех них по-разному. Это стоит отметить хотя бы для того, чтобы предостеречь от причисления к уровню действий при систематизации движений или диагностике их нарушений того, что к нему безусловно не относится.

Схватывание и держание предмета встречаются у человека уже на самом низовом уровне построения — на рубро-спинальном уровне *А*, начиная от тонических фиксаций, наблюдаемых у новорожденного ребенка с первых же дней жизни (см. гл. VII). Уже не в роли ведущего уровня, как у младенца, а в порядке реализации фонов уровень *А* участвует в акте схватывания и держания предмета и у взрослого. Именно он обеспечивает то безукоризненное обхватывание, облегание вещи пальцами при любой ее форме, которое навело Bethe на практически ценную мысль об устройстве обхватывающего кистевого протеза (рис. 74 и 75), но при этом на



Рис. 74. Кистевой активный охватывающий протез Bethe, построенный им по принципу "скользящего сопряжения"

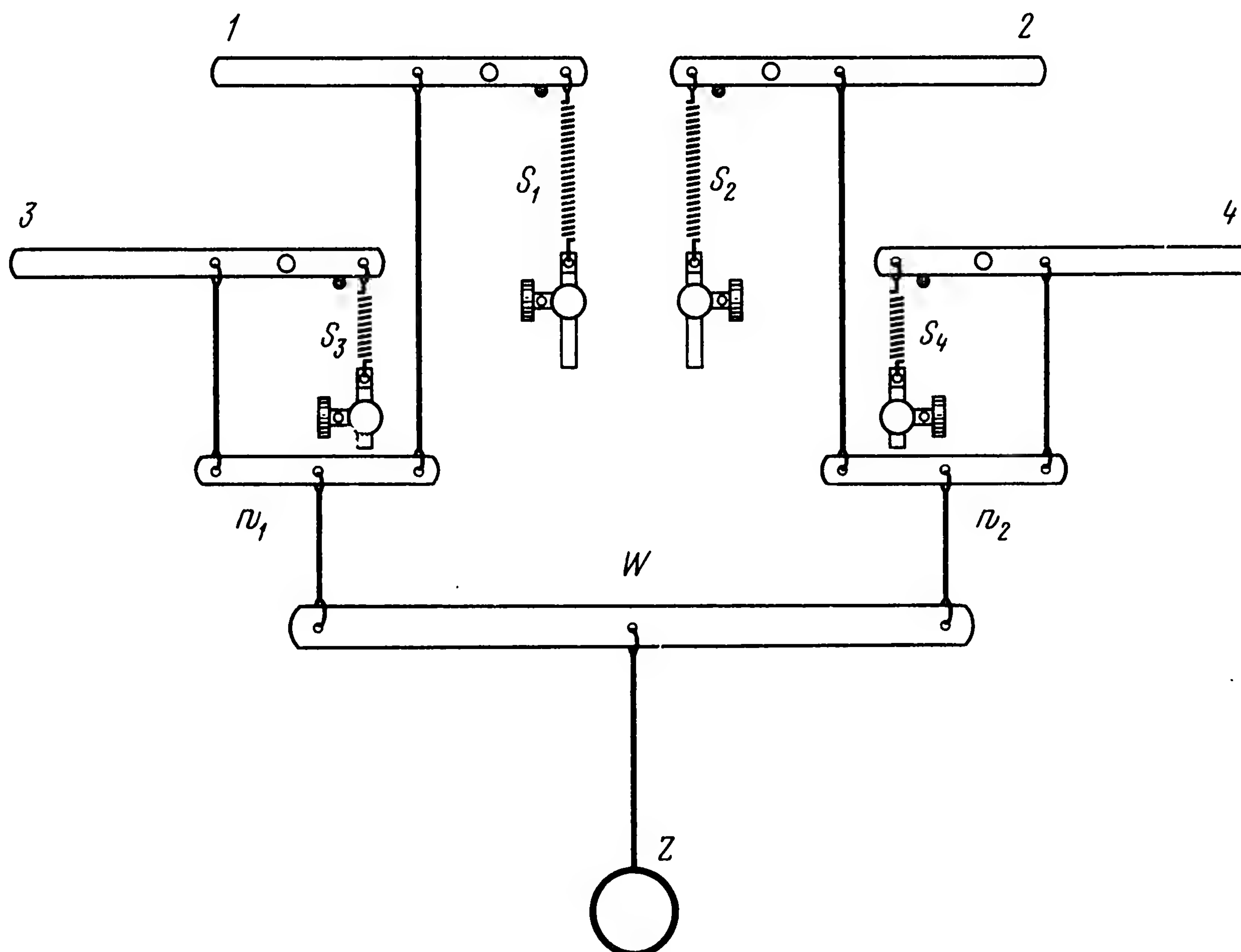


Рис. 75. Схема Bethe, изображающая сущность механизма "скользящего сопряжения" (der gleitenden Kopplung), примененного им для кистевого протеза

неправильное теоретическое обобщение. Он был не прав в том, что сблизил этот механизм приспосабливания кисти к форме вещи, механизм "скользящего сопряжения", не с явлениями пластического или текучего юкскюллевского тонуса, как бы следовало, а с механизмами компенсационного приспособления при локомоциях, которые, как мы видели, реализуются гораздо выше, уже на уровне пространственного поля. Это привело к попытке отождествления двух механизмов, ни анатомически, ни функционально не имеющих между собой ничего общего, и отдалило Bethe от правильного решения вопроса.

Уровень синергий участвует как фон в целом ряде предметных движений — либо косвенно, через поддерживание локомоции, в свою очередь играющей роль фона в предметном действии, либо в порядке осуществления прямой фоновой синергии. Однако непосредственно с предметом как таковым этот уровень общается мало. Явственные предметные компоненты мы находим вновь только в *уровне пространственного поля.* Предмет представлен в этом уровне очень разнообразно.

Во-первых, он фигурирует в нем как пункт для приложения сил, как физическое тело, нечто весомое и смещаемое. Мяч в спортивной игре[1], ядро или диск в соответствующих упражнениях — это не предметы, как объекты или орудия действования из уровня *D*, а вещи из уровня пространственного поля, обладающие определенной формой и консистенцией, весомые и смещаемые, в сущности, — материальные точки, в качестве каковых их и приходится очень часто рассматривать в биомеханике.

Во-вторых, предмет в уровне пространственного поля — это нечто такое, что можно взять, достать, положить, принести, забросить, засунуть, выхватить. В этом направлении очень интересны наблюдения над животными, для которых уровень действий или вовсе недоступен, или труден. Если курица видит корм, находящийся за решеткой, то она в состоянии реагировать на него только в уровне пространственного поля, т.е. бесплодно рваться к нему по оптической прямой кратчайшего расстояния. Собака или обезьяна уже довольно легко переключается в подобном случае на уровень предметного (цепного) действия, идет не к объекту, а прочь от него, туда, где в решетке есть калитка, т.е. включает в свое поведение два последовательных взаимно обусловленных акта, первый из которых имеет мотивом не пространственные, а смысловые отношения. Высшие обезьяны способны в аналогичной ситуации подняться до применения орудия (например, сходить за палкой). Но та же обезьяна, прежде чем произвести что-либо с предметом на уровне действий (например, соорудить башню из ящиков, чтобы достать высокоподвешенный плод), будет некоторое время бесплодно (на этот раз буквально) подпрыгивать и рваться к нему, пытаясь схватить его по прямой линии на уровне пространственного поля.

В-третьих, к уровню пространственного поля приходится причислить и некоторые случаи манипулирования с предметом, т.е. случаи, которые по первому взгляду прямо напрашиваются на причисление их к уровню действий. Получив, например, в руки деревянное разъемное яйцо, полуторагодовалый ребенок (здесь приходиться точно оговаривать возраст) или высшая обезьяна способны осмыслить его как вещь, которую можно и которую стоит раскрыть. Их афферентации,

[1] Спортивная игра как целое строится уже в уровне действий; здесь речь идет об отдельных сукцессивных эпизодах действий с мячом.

таким образом, начинают уже подбираться вплотную к уровню действий. Но и ребенок, и обезьяна подходят к решению возникшей задачи чисто геометрически: раз яйцо раскрывается в стороны, значит для раскрытия надо и тянуть его половинки прямо в стороны. Это и предпринимается с напряжением всех сил, что нередко приводит в результате к тому, что как половинки яйца, так и его содержимое разлетаются во всех направлениях. Движения обоих ведет геометрический образ раскрывающегося яйца, а не предметный опыт, который мог бы подсказать им гораздо более надежные приемы открывания, расходящиеся с этим геометрическим образом (покачивание, откручивание и т.п.). Только тогда, когда это будет постигнуто, можно будет говорить о том, что действие открывания переключилось на предметный уровень.

Итак, целый ряд случаев общения с предметом надо с самого начала исключить из описи движений, ведущихся на уровне действий: в первую очередь *движения хватки,* не только простой пластической (держание яблока, кольца, ручки чемодана и т.п.), но и квалифицированной хватки рабочего инструмента, и, далее, все те формы обращения, в которых предмет фигурирует как *материальная точка* в пространстве или ведет движение как *геометрический образ.* Все эти движения и расстраиваются при поражениях соответствующих низовых уровней, в то время как при них всегда уцелевают те из движений предметного уровня *D*, в которых фоны пространственного поля принимают лишь второстепенное участие, например движения одевания, умывания, утирания полотенцем, открывания коробки и т.п.

Прежде чем обратиться к перечням конкретных целостных двигательных актов уровня действий, мы должны кратко резюмировать их общие характерные черты при полноценной работе соответствующих отделов центральной нервной системы — общую характеристику тех двигательных действий, которые можно было бы назвать "праксиями".

Движения в уровне предметного действия представляют собой *смысловые акты,* т.е. это не столько движения, сколько уже элементарные поступки, определяемые смыслом поставленной задачи. Надеть и застегнуть пальто, смазать лыжи мазью, загнать футбольный мяч в ворота противника, культурно съесть яйцо, запечатать письмо в конверт, очинить карандаш, обстругать плоскость доски — вот ряд примеров простейших предметных действий; и каждое из них представляет собой совокупность движений, которые в целом решают определенную смысловую задачу. В преобладающем числе случаев эти действия строятся как сукцессивные цепи, более или менее сложные по составу и имеющие в качестве связей между составляющими элементами не пространственные (кинетические, геометрические), а смысловые мотивы, не сводимые к простым перемещениям вещей в пространстве или преодолеванию сил.

В случаях, когда действие на уровне D является подобным цепным процессом, среди движений-звеньев, образующих его двигательный состав, можно по большей части вычленить *ведущие движения-звенья,* реализующие существенные смысловые этапы действия, и *вспомогательные* или фоновые, играющие второстепенную по смыслу, но нужную служебную роль. Такими вспомогательными движениями-звеньями являются прежде всего всякого рода возрастные холостые движения (пиление, строгание, резание, штрихование и пр.) и движения замаха (ударные рабочие операции), а затем и многочисленные самостоятельные сукцессивные звенья

подсобного назначения: взять орудие и опять отложить его по использовании, придвинуть вещь, придержать, смахнуть рабочие отходы и т.п.

Признак вариативности проявляется в актах этого уровня новым и очень характерным образом. Для уровня *В* показательным являлось почти полное отсутствие вариативности траекторий и поз, т.е. стойкая связь между сутью данного движения и его пространственно-кинематическим рисунком, подкрепленная еще во многих случаях явлением динамической устойчивости. На уровне *С* мы встретились уже с явлением широкой допускаемой взаимозаменяемости поз и траекторий и даже взаимозаменяемости исполнительных органов при точном, или инвариантном, отношении только к финальным, целевым координатам. В уровне действий вариативность, или взаимозаменяемость, идет еще дальше. И локализация уровня действий в коре, принесшей с собой в нервную физиологию максимальные возможности переключаемости и экстемпоральности, и ведущая роль в данном уровне смысловой стороны более или менее сложных манипуляций с предметом — все сообща ведет к огромному возрастанию в нем приспособительной вариативности. Даже в наиболее привычных, профессиональных, высокоавтоматизированных действиях в двух последовательных одинаковых операциях кряду не повторяются в точности ни номенклатура последовательных звеньев цепи, ни их порядок, ни число повторений отдельных звеньев. Здесь легко заменяются одни другими не только траектории или исполнительные органы, но и целые звенья цепи, которая реализует данное действие. Если мастеру нужно согнуть по длине вдвое узкую полоску жести, то цепочка его движений в целом ведется требуемым результатом, самые же движения-звенья цепочки могут бесконечно разнообразиться. Он попробует сделать сгиб руками или плоскогубцами, в тисках или без них, постучит или не постучит по сгибу молотком (сперва еще достав его из шкафа посредством движения из инвентаря уровня пространственного поля), придавит или придержит изделие тем или другим приемом и жестом и т.п. Не говорим уже о том, что все имеющееся в предметном действии не от метрики, а от топологии (т.е. как раз самое характерное для этого уровня) по самой сути предполагает вариативность или индифферентность по адресу точной пространственной координаты. Неизменной и строго выдерживаемой остается всегда только основная, результативная суть действия, и как раз во имя ее максимально строгого выдерживания все вспомогательные, фоновые компоненты лавируют и приспособляются в очень широких пределах. Однако в этой переключаемости и вариативной взаимозаменяемости элементов нельзя не заметить двух очень существенных и характерных ограничений, каждое из которых скрывает за собой целую физиологическую проблему. Мы вернемся к этому вопросу несколько ниже в связи с анализом двигательного состава действий.

Одна особенность движений в предметном уровне, тесно связанная с рассмотренной выше смысловой организацией пространства, дает для них признак, правда, лишь негативный, но зато очень выразительный и часто хорошо пригодный для распознавания движений предметного уровня и для уловления момента его онтогенетического вызревания над более ранним по генезу уровнем пространственного поля. Дело в том, что движение в предметном уровне ведет не пространственный, а смысловой образ, и двигательные компоненты цепей уровня действий диктуются и подбираются по смысловой сущности предмета и того, что должно быть проделано над ним. Поскольку же эта смысловая сущность далеко

не всегда совпадает с геометрической формой, с пространственно-кинематическими свойствами предмета, постольку среди движений-звеньев предметных действий вычленяется довольно высокий процент движений, ведущих не *туда,* куда непосредственно зовет пространственное восприятие и осмысление предмета. Выше, при разборе предметных движений уровня пространственного поля было уже приведено несколько примеров двигательных актов, в которых движение ведется пространственным образом; в одних из движений этого рода уровень пространственного поля оказывался достаточным и адекватным, в других — приводил к полному или частичному неуспеху всего предприятия. Процедура споласкивания кисточки в *стакане* с водой при рисовании на *бумаге*, открывания *подъемной* крышки шкатулки путем прижатия ее *книзу,* извлечения винта из доски посредством не вытаскивания, а вращения его, поворачивания лодки *против* часовой стрелки путем поворота рулевой пластины *по* часовой стрелке — все это примеры сукцессивных составляющих, ведущих "*не туда*", расходящихся с прямой геометрической логикой действия с предметом. Совершенно правильна забота конструкторов о том, чтобы в сложных механизмах геометрическая логика рычагов управления совпадала с предметной, технологической логикой: прекрасным примером могут служить хотя бы органы управления современных самолетов. Впрочем, автоматизируемость предметных актов, постоянно изобилующих компонентами из категории "не туда", так велика, а описанная выше иллюзия непосредственного срастания своих органов с органами машины или инструментом так действенна, что были, например, случаи, когда летчики времен первой мировой войны, до стандартизации летательных машин, с удивлением узнавали от механиков, что схема управления того самолета, на котором они только что впервые в жизни летали, прямо противоположна общепринятой и привычной им за весь их предыдущий стаж[1]. Выучиться ездить на велосипеде, скрестив руки так, чтобы правая кисть держала левую ветвь рулевой вилки, а левая — правую, гораздо легче, чем может показаться на первый взгляд.

Итак, в отношении к предмету смысл действий уровня *D* состоит уже не в его перемещениях, а в гораздо более разнообразных и сложных формах изменения окружающей действительности. Зажигание спички, бритье, стирка, варка пищи, чистка башмака — в быту, изоляция электропроводки, крашение, сварка, заклепка, шлифовка и т.п. — на производстве представляют собой примеры простейших действий, результат и смысл которых явственно выходят за пределы перемещения вещей в пространстве. Производственные процессы особенно очевидны в этом отношении и не нуждаются в отдельной мотивировке. Орудие, как и предмет, мыслимо и на уровнях ниже предметного (например, крокетный молоток, теннисная ракетка, хоккейная клюшка и т.п.), и то новое, что вносится в движения предметным уровнем, состоит не столько в факте применения орудия, сколько в способе и задаче этого применения.

Не менее характерными чертами обладают двигательные акты уровня действий и в отношении их *двигательного состава*. Прежде всего привлекает к себе внимание большая и специфическая *упражняемость* действий, их высокая *автоматизируемость* и свойственность этим актам явления, получившего в литературе обозна-

---

[1] Такой случай был сообщен мне профессором С.Г. Геллерштейном, которому я выражаю мою благодарность.

чения *высших автоматизмов,* предметных навыков, сноровок, scilled movement, Handfertigkeiten и т.п. Эти сноровки, или высшие автоматизмы, настолько многочисленны, настолько широко присущи и бытовым, и профессиональным действиям, наконец, настолько своебразны по их качествам, что возникает настоятельное предположение, не представляют ли они собой все в совокупности особого координационного уровня, фонового по отношению к обслуживаемому ими уровню смысловых цепей — действий, но расположенного выше всех ранее описанных. Бесспорно, что эти сноровки никогда *сами по себе не являются предметными действиями,* т.е. не содержат в себе определяющей смысловой компоненты. Это подтверждается и тем, что при агностической и идеаторной формах апраксии они могут полностью сохраняться, но при этом, лишенные смыслового управления, приводят к абсурдным результатам. При дементном распаде психики точно так же встречаются вполне сохранные автоматизмы с нелепыми результатами: старчески дементная больная прекрасно вяжет чулок с двенадцатью пятками, пациент-шизофреник пишет щегольским почерком бессмысленные персеверации букв и т.п. Автоматизмы являются в предметном действии не смысловыми элементами, а техническими средствами, и это уже доказывает, что сами по себе они организуются где-то ниже предметного уровня.

Предположение, что высшие автоматизмы образуют свой особый уровень, подчиненный предметному, как будто подкрепляется еще и тем, что они имеют и свою особую локализацию в коре, разумеется, локализацию только в смысле местоположения очагов, обусловливающих их выпадение: именно они и разрушаются при поражениях так называемых премоторных полей коры (см. ниже), и в их выпадении как раз и состоит то, что носит название премоторного синдрома. И тем не менее это предположение неверно, и природа всех высших автоматизмов описываемой категории совершенно иная.

Прежде всего надо отметить, что с явлением автоматизации мы встречались уже и раньше, при описании работы уровня пространственного поля, и там было установлено, что это явление сводится к постепенно совершающемуся переключению ряда фоновых компонент сложного двигательного акта на нижележащие уровни, туда, где для них обретаются наиболее адекватные сензорные коррекционные синтезы. Нет убедительных причин отвергать подобный же механизм и для образования высших, предметных автоматизмов.

Далее, внимательный анализ всевозможных высших автоматизмов (фактически выполненный нами над большим числом объектов при помощи циклограмметрического метода), как бытовых, так и профессиональных, спортивных, военных, навыка скорописи и т.д., убеждает в том принципиально решающем обстоятельстве, что ни один из них не содержит ни в своих координационных коррекциях, ни в своем двигательном составе ничего, что выходило бы за пределы работы уже известных нам и ранее описанных уровней. Мы не обнаруживаем по отношению ни к одному из этих автоматизмов особого сензорного синтеза, а это ведь и определяет в самом основном наличие и состав самостоятельного уровня построения. Ни в одном из этих высших автоматизмов не находится каких-либо новых черт характера или стиля координационного процесса, каких-либо новых особенностей вариативности, переключаемости, переноса, сбиваемости, словом, чего-либо из всех тех свойств и признаков, наличие которых необходимо для присуждения определенному двигательному контингенту степени "уровня".

Переходя от негативных аргументов к позитивным, мы убеждаемся далее в том, что каждый высший автоматизм обязательно носит явственные и неоспоримые черты одного из уже известных нам уровней построения, начиная от уровня *C* и далее книзу. Все их координации при внимательном анализе изобличают в них то свойства пространственного поля (например, автоматизмы удара молотком у кузнеца, движений с напильником или ножевкой у слесаря), то свойства уровня синергий (например, движения вязальных спиц, смычка скрипача и т.д.), то даже свойства рубро-спинального уровня (хватка ручки инструмента или станка, катание пилюль и т.п.). Все критерии, по которым мы можем в настоящее время производить анализы уровневой принадлежности, и на первом месте между ними, разумеется, критерий определяющего сензорного синтеза, "поля", неизменно приводят во всех случаях к приписке этих двигательных компонент предметных действий в один из нижележащих, допредметных уровней. У более сложных автоматизмов возможно найти целую иерархию реализующих их уровней с настоящими фоновыми структурами, так сказать, второго порядка.

Как общее правило, предметный уровень не находит подобных сноровок, или автоматизмов, в готовом виде в инвентаре нижележащих уровней и вынужден их специально вырабатывать для осваиваемых им действий. Характерным свойством автоматизмов этой категории является их *благоприобретенность*. Процесс их выработки имеет ряд особенностей, проливающих свет и на их центрально-нервную структуру. Осваиваемый впервые двигательный элемент цепного предметного действия строится первоначально целиком из единичных сознательных произвольных компонент, реализуемых чаще всего через пирамидную эффекторную систему. В этой стадии (у абсолютного новичка) вырабатываемый автоматизм очень напоминает собой остатки аналогичного автоматизма у премоторного апрактика; движение разрозненно, беспомощно и пробивается вперед только на костылях активного, сознательного внимания, часто сопровождаясь широкими иррадиациями эффекторного возбуждения, бесполезными синкинезиями и т.д. Если эффекторные приборы уровня действий функционируют правильно, то постепенно кортикальные афферентации начинают сменяться афферентациями нижележащих уровней; мало-помалу увеличивают свой удельный вес экстрапирамидные слагающие; в движении образуются компоненты несознаваемые, непроизвольные и все более адекватные. Активное внимание разгружается, разгружается и ведущий уровень, который вместо всех решительно деталей движения оставляет за собой лишь те, которые существенно нуждаются в его специфических афферентационных качествах. Движение *автоматизируется*.

Этот процесс прижизненной активной выработки автоматизмов указывает на то, что хотя сам по себе автоматизм не содержит в себе ничего, кроме компонент уровня пространственного поля и еще ниже лежащих уровней, и хотя в выработанном виде он и реализуется полностью на этих подчиненных уровнях, *но в самих этих уровнях и в их ведущих афферентациях нет и не может быть мотивов ни к формированию, ни к вызыванию* ("экфории")[1] тех двигательных и координационных комбинаций, которые мы относим к классу высших автоматизмов. Все техническое, координационное управление ими осуществляется полностью на тех или иных ни-

[1] Мы используем этот удобный термин, введенный Semon, что нимало не обязывает следовать и его взглядам на вещи.

зовых уровнях, но возникновение, выработка и отшлифовка этих комбинаций, а также пуск их в ход по мере надобности возможны не иначе, как по мотивам и побуждениям, исходящим из уровня действий[1]. Какие могли бы быть причины к тому, чтобы производить те или другие точные и налаженные движения иглой, рубанком, резцом, микрометром микроскопа, наконец, пером, пищущим эти строки, если бы эти движения оказались в какой-то момент самодовлеющими, законченными в себе не только в своем двигательном составе, но и в своей смысловой структуре и сути? Так, например, техника вколачивания гвоздя молотком есть типичное баллистическое целевое движение в уровне пространственного поля, еще и со своими вспомогательными фонами из уровня синергий (междусуставная координация, борьба с реактивными силами и пр.), и его основные черты — сила удара, меткость попадания — корригируются афферентацией пространственного поля. В то же время ведущий координационный контроль над этими движениями выполняется уровнем предметного действия, уже осмысляющим весь процесс в целом и решающим основную смысловую задачу: "чтобы гвоздь был вбит". Именно этот уровень определяет, нужно ли в очередной раз ударить сильно или слабо, прямо или вкось, или постучать по согнувшемуся гвоздю сбоку, или перестать ударять, когда гвоздь вошел на требовавшуюся глубину. Именно в этом уровне, и только в нем одном, содержатся мотивы к выработке навыка размашного стучания молотком, имеющего смысл только применительно к указанной задаче.

По поводу описываемых высших автоматизмов и было сказано в начале этой главы, что контингенты движений уровня пространственного поля у человека много богаче, чем у каких бы то ни было животных: у этих последних нет мотивов к образованию подобных контингентов, хотя и есть налицо немало фактических двигательных, координационных возможностей к этому, что доказывается их дрессируемостью. Вспомним (чтобы не рыться слишком долго в цирковых программах) хотя бы эльберфельдских лошадей или речь попугаев. "Заяц, ежели его бить, спички может зажигать", как заметил один из героев чеховских рассказов. В том-то и дело, что человек зажигает спички по иным побудительным мотивам.

Анализ высших автоматизмов вскрывает нам физиологическую роль *премоторных систем*, разрушение которых приводит к общей *деавтоматизации* действий уровня *D*, к потере всякой возможности как экфории, так и нового формирования высших автоматизмов. Очевидно, в норме премоторные системы работают как своеобразные *посредники* (хотелось бы назвать их "экфораторами", если бы не уродливость пристегивания латинского суффикса к греческому корню), устанавливающие и поддерживающие связь между кортикальными констелляциями уровня действий, с одной стороны, и нижележащими уровнями построения — с другой. Это заключение хорошо подкрепляется фактом изобилия и хорошо изученными направлениями проводящих путей от премоторных полей коры как к пирамидным полям и pallidum, так и к лобным долям полушарий, через которые устанавливается, таким образом, связь премоторных систем с мощным лобно-мосто-мозжечковым трактом. Передача, осуществляемая премоторными системами, совершается не на нижележащие эффекторы, а именно на уровни как целостные образования с при-

[1] Нечто подобное этому типу взаимоотношений мы видели выше на примере взаимоотношений стриального подуровня и уровня синергий в акте ходьбы.

надлежащими им и афферентационными, и центрально-замыкательными, и собственными эффекторными аппаратами. В чем именно состоят импульсы, посылаемые премоторными полями, пока еще совершенно невозможно сказать, но несомненно, что эти поля так или иначе играют в системе уровня действий глубоко своеобразную роль эффектора особого рода. Выбытие их из строя разом лишает систему уровня действий выхода на эффекторную периферию по всем линиям, кроме тех немногочисленных и чрезвычайно абстрагированных собственных коррекций, о которых говорилось выше.

Теперь уместно вернуться к вопросу о вариативности двигательного состава действий, обратившись к нему с новой точки зрения. Если раньше, при анализе смысловой структуры действий, мы должны были констатировать очень далеко идущую вариативность и поэлементную взаимозаменяемость в их двигательном составе, в комбинировании между собой отдельных двигательных элементов цепи, так сказать, в составлении слов из элементов — букв, то теперь необходимо отметить наличие вариативности и в самих по себе элементах двигательного состава — в самих буквах. Не только число и последовательность стежков иглой или движений скальпелем у хирурга или поворотов сверла у механика меняются от операции к операции, но и сами по себе движения руки с иглой, скальпелем, косой, напильником, дрелью и т.п. никогда в точности не повторяют друг друга. И тут обнаруживается, что отдельные двигательные элементы (все равно, одновременные или сукцессивные) чрезвычайно резко разнятся между собой по степени их внутренней вариативности. Тут же рядом, один вслед за другим, могут встретиться два элемента цепи, два автоматизма, один из которых стоек, как черты лица, другой изменчив, как его выражение. Приглядываясь пристальнее к тем и другим, мы можем теперь легко установить и причину этой, так сказать, "вариативности вариативности". Каждый из этих фонов сложного цепного акта действия *вариативен в меру того фонового уровня, на котором он построен.* Таким именно образом автоматизмы, представляющие собой координационные комбинации на уровне синергий, вариативны в самой малой степени; автоматизмы, реализуемые на уровне пространственного поля, обладают той максимальной степенью переключаемости и "пластичности", которая постоянно присуща этому уровню, и т.д.

В гл. V было уже упомянуто о признаке "специфической вариативности", характеризующем разные уровни построения, — признаке, принимающем во внимание как количественные, так и главным образом качественные особенности наблюдаемых вариаций. Этот признак может быть с успехом применен не только для определения уровневой принадлежности самостоятельных движений, но и для оценки структуры и этажности фоновых "высших автоматизмов" уровня действий.

Вторая характерная черта вариативности двигательного состава действий связана с четко проступающим различием между *правой и левой рукой*, с наличием доминантной (ведущей) и субдоминантной стороны тела и т.д. Ни в движениях уровня пространственного поля, ни в моторике еще ниже лежащих уровней эта разница почти или вовсе не заметна. В уровне синергий прикованность движений и коррекций к осваивающим их конечностям настолько значительна, а вариативность и переключаемость настолько низки, что функциональные различия правой и левой руки трудно заметить: они полностью маскируются несмещаемостью стереотипов этого уровня. Но в уровне пространственного поля левая рука во всех случаях легко заменяет правую, и обычно различия в точности, меткости и беглости рук здесь

ничтожны. Достаточно вспомнить, например, работу обеих рук при игре на фортепиано, арфе и т.п. Это обстоятельство стоит, конечно, в непосредственной связи с тем, что только с субстратов уровня действий (*D*) начинается неравноценность правой и левой стороны. Здесь определяется доминантное полушарие, как правило, то, в котором помещаются *центры речи,* и именно здесь вступает в силу заметное отставание одной стороны тела от другой и по ловкости движений, и по усвояемости навыков (оказывая затем уже вторичным, отраженным путем известное влияние и на двигательный багаж нижележащих уровней). Бесспорно, не случайно и заслуживает внимания, что ни в одной из геометрических конфигураций, доступных восприятию и графическому воспроизведению *на уровне пространственного поля,* не имеет места различие между левой и правой стороной, например, между лево- и правосторонними взаимно симметричными орнаментальными фигурами. Очень нетрудно запомнить и потом опознать на большом сводном листе ранее предъявлявшуюся на несколько секунд неравнобокую геометрическую фигуру, но чрезвычайно трудно запомнить при этом ее правую или левую ориентированность и не сделать ошибки при узнавании, если в свободной таблице имеются как правый, так и левый вариант. В то же время знаки, воспринимаемые *в уровне действий,* — буквы, цифры или условные шифровые значки, запоминаются и воспроизводятся с точным различием правых и левых вариантов и, за исключением детей, наклонность которых к зеркальному писанию букв как раз объясняется недоразвитием у них уровня действий (см. гл. VII), каждый без колебания различает наделенные смыслом знаки *И* и *N*, *Я* и *R*, *з* и ε, *б* и *д*, *s* и *г* и т.д.

Если теперь обратиться от нормы к патологии, к анализу тех клинических синдромов, называемых апраксиями или диспраксиями, изучение которых и помогло в самом основном установить существенные позитивные черты уровня действий, то после всего изложенного определение и систематизация этих синдромов не представят особых затруднений. Разумеется, мы коснемся здесь клинических картин не более чем это необходимо для уяснения основных предметов изложения.

Опираясь на введенные выше понятия смысловой структуры и двигательного состава моторных актов, можно коротко и с достаточной точностью сказать, что болезненные или травматические *очаги в нижне-теменных отделах полушарий* (с особенной выразительностью — в ведущем, обычно левом полушарии) влекут за собой *нарушения в смысловой структуре* сложных двигательных актов или действий, а *очаги в премоторных полях — нарушения в их двигательном составе.*

Нижне-теменные синдромы (среди них различают несколько нюансов, именуемых агностической, амнестической и идеаторной формами) можно объединить под общим названием *сензорных, или гностических, апраксий,* оттеняя этим их своеобразно афферентационный характер; по имени впервые детально изучившего их автора они заслуживают названия *апраксий Liepmann.* Во всех этих разновидностях поражается смысловая структура предметного действия. И по локальной, и по функциональной близости апраксии этой категории часто сопутствуются оптическими и слуховыми агнозиями, алексией, сензорной афазией и т.п. Действия, избирательно страдающие при поражениях этого рода, чаще всего представляют собой сложные смысловые цепи, сукцессивные последования движений, объединяемых общностью смысла и цели разрешаемой двигательной задачи. В связи с этим нарушения смысловой структуры, характерные для апраксий Liepmann, обычно представляют собой смысловые искажения подобных цепей. При этом

либо происходит полный распад общего плана движения, либо этот план остается целым в своих основных контурах, но при его реализации наступают разнообразные нарушения. Или из цепи выпадают отдельные звенья, что обессмысливает всю цепь, или наоборот, в нее впутываются звенья, не относящиеся к делу. или имеют место нарушения смыслового порядка следования звеньев, самих по себе верных, или обрывы цепи до ее завершения, или, наконец, соскальзывание на смежные смысловые цепи, нередко даже не в силу их сбивающего сходства, а в порядке персеверации элементов цепи, предпринимавшейся перед этим. Естественно, что при синдроме Liepmann сложные смысловые цепи по большей части страдают сильнее, нарушаются раньше, чем более простые; элементарные предметные действия, как, например, одевание, самообслуживание, рассматриваются меньше. Движения больных при этих формах апраксии не дискоординированы и не аморфны; они только перепутаны и не адекватны смыслу действия. То, что здесь нарушаются именно основной проект движения, а не техника выполнения его деталей, лучше всего подтверждается тем, что подражание цепным действиям, выполняемым на глазах больного другим лицом, удается больному легче, чем спонтанное (самопроизвольное) выполнение, поскольку этим путем больной получает подсказ номенклатуры и последовательности двигательных звеньев цепи, а реализация каждого из них самого по себе у него не нарушена в силу интактности двигательного состава его действий. Нарушения смысловой структуры могут проявляться и в более тонких формах, вскрывая лежавщие в их основе либо расстройства осмысляющего восприятия *пространства,* либо дефекты осмысления предмета как орудия или объекта манипуляций (рис. 76, *не помещен. — Примеч. ред.*). Это уже переходная область к агнозиям, с которыми фактические картины (не оголенные схемы) апраксий Liepmann не имеют резко проложенной границы.

Тесная связь уровня действий с фоновыми уровнями и легкость, с какой эти последние вовлекаются в норме в подчиненное сотрудничество с ним, открывают возможность для еще одного классификационного подразделения сензорных апраксий, намеченного А. Лурия. Это подразделение базируется на том, какими именно фонами оснащенные двигательные акты преимущественно и избирательно страдают при данной форме поражения, и подчеркивает, что в разных случаях (может быть, при разных локализационных нюансах, пока еще не известных) избирательно задеваются связи субстратов уровня действий с субстратами тех или иных различных низовых уровней. Нарушение связей с уровнем синергий дает то, что Лурия обозначает как "апраксию позы", разрыв с уровнем пространственного поля — "апраксию пространства", наконец, какие-то эссенциальные нарушения в самих субстратах уровня действий — апраксию в узком смысле слова, характеризуемую преимущественно непорядками в символических или связанных с гнозисом отправлениях этого уровня. Эта классификация обещает многое, хотя и нуждается еще в дальнейшей разработке.

Вторая группа апрактических расстройств с локализацией очагов *в премоторных полях* также включает несколько разновидностей, которые можно объединить под общим названием *кинетических, или премоторных,* апраксий, или, в pendant к апраксиям Липмана, под именем апраксий Клейста[1]. Эти синдромы

[1] Сам Kleist обозначает выделенную им наиболее характерную форму премоторной апраксии трудно переводимым термином "gliedkinetische Apraxie".

представляют собой в противоположность предыдущим нарушения в протекании *двигательного состава действия* при сохранности всей основы его смысловой структуры. Как и у сензорного апрактика, у премоторного больного нарушены механизмы реализации действия; и у него подорван мост, ведущий от (интактного) понимания задачи к ее разрешению, но подорван он в другом пролете. По характеристике Клейста, в противоположность сензорной апраксии последовательность звеньев данного действия остается целой, но выполнение отдельных звеньев оказывается дефектным; наступает "огрубление и искалечение двигательной формы, узнаваемой еще по ее общим контурам" (Kleist). Как отмечает этот автор, нарушение проявляется далеко не с одинаковой силой для разных видов движений. В частности, сложные смысловые предметные действия здесь нарушаются *меньше* (при идеаторной апраксии они как раз страдают сильнее всего), так как общий контур, или проект, движения остается для больного ясным, а в замену расстроившихся частных координаций он еще сохраняет возможность пойти обходным компенсационным путем, руководствуясь конечным смыслом и целью предпринятого акта.

Премоторный больной в состоянии правильно спроектировать действие в отношении его двигательного состава, в состоянии даже наметить и расписать по партиям ту партитуру движения, которая была образно упомянута выше, но он становится беспомощным в осуществлении его элементов. Уже поверхностное наблюдение отмечает, что движения его неловки, тугодумны, лишены непринужденной непосредственности. Он как бы скандирует их, читает свои движения по складам. Психологически пассивные элементы, чередующиеся во всяком движении с активными: опускание руки после выполненного поднятия, отпускание книпки после нажима на нее, расслабление после напряжения и т.п. — все это у него одинаково активно, требует особого акта внимания и особого изъявления воли. По характеристике Лурия, поражается обобщенный, системный характер движения, при котором единичные двигательные элементы органически включаются в ткань двигательного состава действия. Нарушается и исчезает "динамический фон" движения — свойственные норме обобщения во времени последовательных активных и пассивных элементов. Из единого замкнутого акта, включающего в себя и активную, и пассивную часть, движение превращается в последовательный акт не слитных, сплошь активных перемещений, из плавного делается толчкообразным, саккадированным, похожим на гимнастические движения по команде. Единая "кинетическая мелодия" привычного движения, в норме текущая автоматически, превращается в серии единичных, деавтоматизированных актов. Схема заменяется суммой.

Нарушения в протекании двигательного состава действия сказываются с особенной яркостью в важнейшем из признаков премоторной апраксии, являющемся, может быть, наиболее точным ее определителем: в глубоком распаде двигательных навыков, т.е. в *деавтоматизации* смысловых или предметных цепей. Как отметил уже H. Jackson, при апраксии этого типа выпадают не элементарные, подкорковые автоматизмы (т.е. не возникает деавтоматизации движений, ведущихся нижележащими уровнями построения. — *Н.Б.*), а высшие кортикальные автоматизмы, т.е. механизмы осуществления сложного действия по единой динамической схеме.

Все, что у нормального субъекта в его обыденной предметной деятельности совершается автоматизированно, само собой, бессознательно и с привычной ловкостью: застегивание пуговицы, зажигание спички, расчесывание волос и т.п., при наличии премоторного очага резко деавтоматизируется, становится неуклюжим и



Рис. 77. Задача на выполнение сукцессивной структуры
Воспроизведение карандашом извилистых фигур, образцы которых помещены слева. Больной, страдавший менингеомой левой премоторной зоны; опыт на 4-й день после ее оперативного удаления. "Характерной особенностью рисунков является то, что больной не мог овладеть ими как единой динамической структурой. Так, фигура *А* превратилась в сумму изолированных движений, из которых больной пытался складывать графическую структуру; этот же разорванный характер движений и невозможность овладеть кинетической мелодией особенно видны на фигуре Б, изображение которой превращается в ряд разорванных штрихов. Еще на 20-й день после операции трудность овладения кинетической мелодией проявляется достаточно резко" (А. Лурия. Уч. зап. каф. психологии МГУ, 1945 г.)

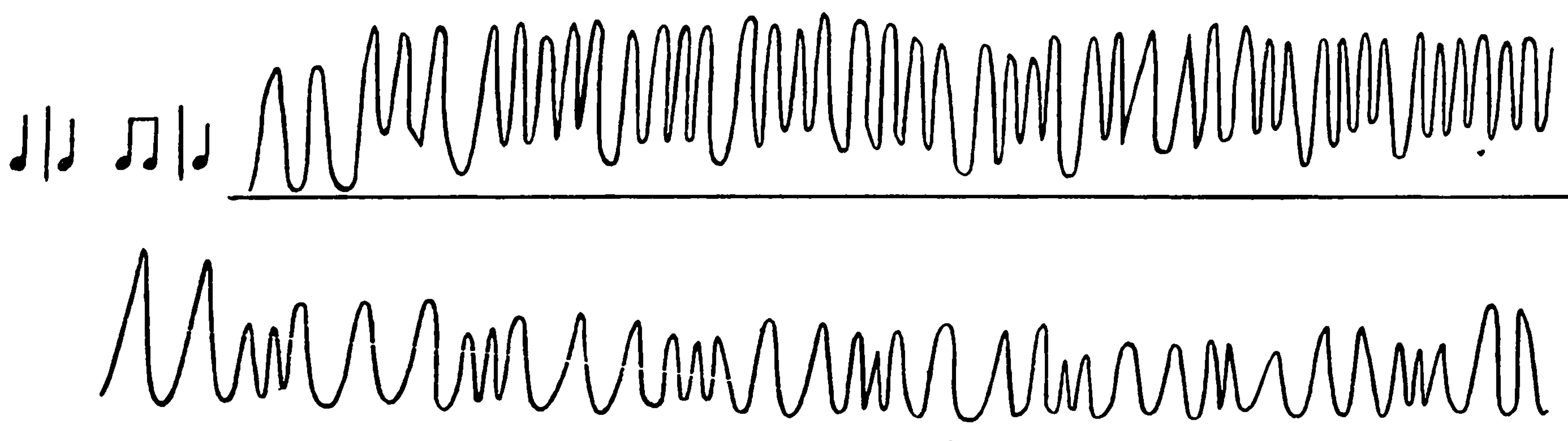


Рис. 78. Исполнение ритмического текста субъектом, получившим осколочное непроникающее ранение правой и отчасти левой премоторной области, парасагиттально, соответственно задней части верхней лобной извилины
Верхняя кривая — правая рука спустя 5 мес. после ранения (вскоре после операции, обусловленной незаживавшим свищом). По признанию самого больного, характерному для полной сохранности самокритики у больных этого рода, "почему-то не получается, хотя это очень просто и понятно; быстро—труднее". *Нижняя кривая* — та же правая рука после длительной безуспешной тренировки (около 3 мес.); правильная акцентировка получилась только путем зрительного опосредствования с помощью оптической схемы: II'" (Е. Школьник-Яррос. "Нарушение движений при поражении премоторной зоны", Ин-т неврологии АМН, 1945)

неудачливым, как делаемое ребенком первый раз в жизни. Безвозвратно утрачиваются более тонкие профессиональные и художественные навыки, и в последующем даже самое упорное, настойчивое, длящееся целые месяцы упражнение не в состоянии восстановить и простейшего из них. Более глубокий анализ показывает, в каком именно звене разрываются связи у больного описываемого типа. Премоторный апрактик теряет возможность фактической реализации развертки компонент движений по фоновым уровням, уже упоминавшейся раньше; в этом-то, несомненно, и заключается самый стержень постигшей его общей деавтоматизации (рис. 77 и 78).

Автоматизация есть с точки зрения излагаемой здесь концепции переключение тех или иных структурных компонент двигательного акта на нижележащие, в данный момент не осознаваемые уровни, что связано и с переключением этих компонент

на другие афферентации. Отсюда следует, что *деавтоматизация* — это потеря возможности фонового использования того низового уровня, на который были раньше переключены те или другие компоненты движения. Такая потеря может быть обусловлена либо *распадом самого низового уровня,* либо же *нарушением функциональной связи* между анатомическими субстратами ведущего уровня и того низового, о котором идет речь. Обе эти формы деавтоматизации могут быть наблюдаемы и по отношению к более низким уровням, нежели уровень действий.

Хороший пример первой формы деавтоматизации представляет собой разрушение скорописи у паркинсоников. Первопричина испытываемых ими выпадений — распад субстратов уровня синергий — приводит к утрате уже упоминавшейся несущей вибрационной синергии скорописи; эту утерянную синергию им приходится возмещать на уровне пространственного поля, который у них не нарушен. И вот, очень любопытно наблюдать, как паркинсоник с сильным тремором рук, едва способный вывести дрожащим почерком свое имя и фамилию, тут же вслед за этим *рисует* совершенно твердой рукой заказанный ему кружок или крестик. Письмо, издавна усвоенное им со структурным, фоновым участием уровня синергий, деавтоматизировалось и распалось с его разрушением, а рисование кружка, никогда не бывшее автоматизированным подобным же образом, осталось совершенно незатронутым. Интересно, что и вообще у паркинсоников обычно пирамидные иннервации в гораздо большей степени гасят присущий им тремор конечностей, нежели исходящие в норме из экстрапирамидной системы.

Вторая разновидность деавтоматизации была уже упомянута выше примерно к тому же паркинсонизму: подразумевается тот встречающийся при этом заболевании синдром, при котором теряется возможность спонтанной ходьбы по неразмеченной поверхности. Выше (см. гл. V) было указано, что в этом синдроме мы имеем дело с формой деавтоматизации ходьбы, зависящей уже не от распада уровня синергий, а от нарушения тех механизмов *перешифровки,* которые выполняют в норме перевод с апериодического языка уровня пространственного поля на периодический или циклический язык уровня синергий. Именно к этому-то второму типу — нарушению механизмов связи или перешифровки — следует отнести и те деавтоматизации, которые характерны для премоторной апраксии Клейста.

Действительно, при этом синдроме не выпадают никакие движения из нижележащих уровней, не выпадает, в частности, и возможность произвольных движений; следовательно, ни один эффекторный прибор не оказывается при нем выключенным или пораженным. А между тем нарушение движений, свойственное этой форме апраксии, имеет ясно выраженный эффекторный, а не афферентационный характер. Очевидно, эффекторный характер двигательного нарушения при целости как всех анатомических эффекторных звеньев, так и всех опирающихся на них низовых уровней построения может выразиться только в *деавтоматизации,* обусловливаемой не нарушением в самих по себе низовых уровнях, а *потерей возможности управления ими со стороны уровня действий.* При этом теряется только возможность их фонового, автоматизационного использования, в то время как для афферентаций нижележащих уровней эти же эффекторы продолжают оставаться вполне управляемыми. Характеристика наступающих при апраксии Клейста деавтоматизаций может быть еще несколько уточнена указанием, что наиболее резко нарушается при ней автоматизационная связь с уровнем синергий, менее резко —

связь с подуровнем striatum (*C1*) и в наименьшей степени — связь с пирамидным подуровнем пространственного поля (*C2*). Это следует как из того, что по мере перехода от наиболее легких форм премоторных поражений к наиболее тяжелым деавтоматизации выявляются именно в указанном порядке[1], так и из наблюдений над самим характером и уровневой структурой утрачиваемых автоматизмов.

Как теперь легко представить себе, премоторный больной может сохранять в потенции все возможности проектировки двигательного состава действия (поэтому он, в отличие от идеаторного апрактика, не путается в порядке и группировании звеньев цепи), но только средства реализовать запроектированную фоновую разверстку у него парализованы. Во-первых, это лишает больного *всех низовых перешифровок,* обеспечивающих в норме и метрику движений, и их ритмизацию, и смену иннерваций и денерваций и т.п.[2], отсюда напряженная скандированность его движений, чтение их по складам, как мы выразили это выше. Во-вторых, это лишает больного существеннейшего свойства автоматизмов — их бессознательной регулируемости и ведет к тому, что каждая мелочь в движении требует от него и направленного внимания, и отдельного акта воли. В-третьих же, наконец, это губит все приобретенные им в предшествующей жизни уменья и навыки; по-видимому, гибнут-то здесь даже не сами эти координационные фоны, а только их доступность для экфории; утрачивается и всякая возможность выработки новых. Производит очень тяжелое впечатление, когда интеллектуально полноценный человек после двух-трех месяцев добросовестной ежедневной тренировки не в состоянии освоить даже навыка простого ритмического постукивания пальцем, вроде "спондея-анапеста", и т.д. Об этом не стоило бы, может быть, упоминать здесь, если бы факт сохранности всех низовых уровней у такого больного не давал больших шансов за фактическую сохранность у него и всех навыков; портфель со всеми бумагами цел, потерян только ключик от него. Это уже дает некоторую лечебную перспективу; может быть, не в далеком будущем и удастся если и не найти ключик, так сделать новый.

В обширном кругу двигательных актов, совершаемых нормальным человеком на уровне действий (*D*), очень нелегко найти убедительные принципы для классификации. Разнообразие как смысловых структур, так и двигательных составов, как точек приложения по существу, так и видов внешнего кинетического оформления столь значительно, что не позволяет уже свести акты этого уровня в таблицу, подобную той, какой было выше закончено описание уровня пространственного поля. Наиболее удобный путь для внесения некоторой системы в царящее в уровне действий исключительное многообразие открывается благодаря характеристической особенности уровня *D*: богатству очень разнородных и подчас сложных *фоновых структур,* которым и было уделено много места в обрисовке как нормы,

---

[1] Первыми деавтоматизируются ловкие движения, искусные манипуляции и т.д., т.е. теряется возможность использования фоновых синергий; далее — "динамические адекватные схемы", т.е. движения манипулирования с пространством (*C1*); наконец, в последнюю очередь — вообще произвольные движения (пирамидный подуровень (*C2*), так называемая моторная апраксия).

[2] В числе таких низовых, в норме бессознательных перешифровок премоторные больные часто утрачивают так называемую антеципацию (см. гл. VIII), т.е. способность предваряющего, предусматривающего планирования своих движений. Премоторный больной, на середине пути которого поставлен стул, не пойдет с самого начала слегка вкось чтобы миновать его, а двинется прямо к конечной цели и, лишь вплотную подойдя к стулу, крутым поворотом обойдет его (наблюдение А. Лурия).

так и патологии этого уровня. Не претендуя ни на полноту, ни на выверенную точность, закончим этот раздел изложения эскизом описи видов действий, подразделенных по указанному ведущему признаку. В каждой группе будут даны (лишь очень немногие, взятые совершенно наудачу) примеры соответственных действий из областей: а) производственных, б) бытовых и в) спортивно-игровых процессов.

Группа I. Двигательные акты со *сравнительно малым участием технических фонов* (высших автоматизмов)[1]. Сюда войдут предметные ориентировочные движения: ощупывания, разглядывания, примеривания, сравнивания, выбирания и т.п. Сюда же следует отнести всевозможные предметные действия новичка и обходные (компенсационные) действия премоторных апрактиков. Далее, в эту же группу войдут многие цепи из тех, которые можно бы по аналогии с соответственной группой из уровня *C* назвать топологическим манипулированием с пространством: изображение на бумаге заданной фигуры или значка; схематическое рисование, имеющее место у всех не умеющих рисовать; устанавливание предмета, переворачивание, насыпание, наливание, открывание задвижек, коробок и т.п. Сюда же, видимо, надо включить элементарные движения (например, постукивания) в сложных ритмах. Именно в этой "общечеловеческой" группе предметных действий, не включающей в себя специальных навыков, естественно, легче всего находится материал для разовых диагностических проб на больных.

Группа II. Акты с преобладанием фонового участия *верхнего подуровня пространственного поля C2.* К ним относятся действия, технические фоны и навыки которых тесно связаны с точностью, метричностью движений, значимостью оптического контроля: черчение, гравирование, сборка механизмов, манипуляции с точными приборами (счетной линейкой, микрометром, рейтером точных весов и т.п.), операции токаря, хирурга, оптика, резчика, аптекарского лаборанта, часовщика и т.д. Из области бытовых движений в эту группу войдут: вдевание нитки в иглу, накапывание лекарства, заточка карандаша. Спортивных движений, характерных для этой группы, подыскать не удается; из игровых манипуляций к ней подходят действия с головоломками типа шариков в застекленной коробочке, которые нужно раскатать по местам, карточные домики, малоустойчивые фигурки, которые требуется установить в равновесии, игра в бирюльки и т.п.

Группа III. Акты с преобладанием фонового участка *нижнего подуровня пространственного поля C1.* Из производственных действий: движения сцепщика поездов, шофера, паровозного машиниста, опиловщика, шлифовальщика, кузнеца, обойщика мебели, прачки и т.п. Из бытовых операций: глажение утюгом, причесывание, бритье шнуровка обуви, раскатывание теста, перелистывание книги, включение электроприборов, закуривание и т.п. Из гимнастических и игровых движений: влезание по веревке, на веревочную лестницу или на дерево, балансирование предметами в положениях неустойчивого равновесия, игра "диаболо" и т.д. Все эти акты в той или иной степени содержат вторичные фоны ("вторым планом") из уровня синергий.

Группа IV. Акты с преобладающим фоновым участием *уровня синергий B.* Из производственных операций: работа косца, молотобойца, сноповязальщика, землекопа, пряхи; работа, связанная с кручением рукоятей (лебедка, колодезь, ручная

[1] Едва ли требуется специальная оговорка об обязательном наличии фонов из уровня *A во всех действиях,* ведущихся на уровне *D.*

типографская машина и т.д.); многие конвейерные операции. Из бытовых действий: вязание на спицах, завязывание узлов, мотание ниток, намыливание и мытье тела, заплетание косы, надевание одежды. Спортивные и игровые движения: французская борьба, дзю-до; в некоторой мере — прыжок с шестом; игры с бечевочным кольцом, из которого образуются различные узоры путем поочередного перенимания его с пальцев партнера. Далее — наука развертывается вне плоскости бытовой морали — сюда же следует отнести шулерские приемы, аналогичные им фокусы "ловкости рук" и многие воровские приемы, в которых, как известно, координация иногда (к сожалению) достигает очень высокого совершенства.

Группа V. Акты с необходимым фоновым участием *как уровня пространственного поля, так и уровня синергий.* Из рабочих и производственных действий — прежде всего *письмо и речедвигательный процесс*[1]. Далее, операции рабочего при прокатных станах, матроса на парусных судах и другие подобные действия, присущие так называемым опасным профессиям; операции мастера на швейной машине, закройщика кожи и тканей, наборщика, типографская накладка и фальцовка, наконец, многие из высокорационализированных рабочих навыков, применяемых мастерами стахановского труда. Из бытовых процессов: шитье, вышивание, чистка плодов и овощей, выпиливание и т.д. Из спортивно-игровых движений: фехтование, штыковой бой, стрельба из лука, метание сложных охотничьих приспособлений: гарпуна, бумеранга, лассо и т.п.; многие из действий горного и горнолыжного спорта, джигитовка и т.п.; гребля, "ассистирование" в партерной акробатике и балете.

Группа VI. Акты с преобладанием фонового участия *рубро-спинального уровня A*: катание пилюль, некоторые из движений массажа; vibrato левой руки скрипача; обмахивание веером; ряд производственных фиксаций и хваток.

Уровни, лежащие выше уровня действий (группа *E*)

Общие характеристики существенных черт движений и действий уровня *D*, данные в настоящей главе, ясно показывают, что еще не все высшие интеллектуальные двигательные акты могут найти себе место в этом уровне. В координационный уровень действий не попадают, например, символические или условные смысловые действия, к которым в первую очередь относятся не технически-исполнительные, а ведущие в смысловом отношении координации *речи и письма*; двигательные цепи, объединяемые не предметом, а мнестической схемой, отвлеченным заданием или замыслом и т.д., например, художественное исполнение, музыкальное или хореографическое; движения, изображающие предметное действие при отсутствии реального объекта этого действия; предметные действия, для которых предмет является уже не непосредственным объектом, а вспомогательным средством для воспроизведения в нем или с его помощью абстрагированных, непредметных соотношений. Существование подобных движений и действий убедительно свидетельствует о наличии в инвентаре человеческих координаций одного или нескольких уровней, иерархически более высоких, нежели уровень *D*.

Необходимо оговориться, что наличие у человека мотивов и психологических условий для действий, значительно возвышающихся над конкретным, элементар-

[1] См. об этом ниже в гл. VII и VIII.

ным обращением с предметами, не подлежит никакому сомнению. Трудность заключается только в том, чтобы выяснить, сказываются ли, и если да, то в какой мере, эти отличия мотивировки и психологической обусловленности действий и *на внешнем, координационном оформлении* и корригировании движений, о чем здесь только и идет речь. Когда животное бежит один раз потому, что ему необходимо быстро перекрыть известное расстояние (подуровень *C1*), а другой раз бежит нацелившись на то, чтобы с разбега схватить подвешенный плод или намеченную жертву (фон в *C1* к основному акту в *C2*), то разница в построении и сензорных коррекций, и самого результирующего движения в обоих случаях не вызывает сомнений. Но когда человек наносит другому удар кинжалом в порядке элементарной самозащиты или грабительского нападения (уровень *D*), то у нас еще не может быть достаточных оснований ожидать существенно иного координационного оформления, если субъектом подобного же акта будет Дамон, Занд или Шарлотта Кордэ. Необходимо обратиться прежде всего к анализу *двигательного состава* подобных действий, за которыми подозреваются высшие координационные уровни.

Анализ некоторых особенно сложных и интеллектуализированных актов поведения, например письма или речи, устанавливает в них наличие большего числа иерархически наслоенных этажей, или, что сводится к тому же самому, наличие иерархически наслоенных одна на другую координационных перешифровок в большем количестве, нежели число насчитываемых нами уровней до предметного включительно. В акте письма, например, мы имеем налицо уровень синергий, задающий основную колебательную синергию скорописи; уровень пространственного поля *C*, обеспечивающий адаптацию движения пера к поверхности бумаги и соблюдение геометрических особенностей почерка при допущении пластической вариативности величины букв, положение листа, позы пишущего и т.д.; наконец, уровень действий *D*, определяющий топологические особенности почерка, верховно управляющий высшим автоматизмом скорописи и осуществляющий правильные алфавитные начертания букв (то, что мы выше назвали модулированием скорописной колебательной синергии уровня *B*). Легко убедиться, что над всеми этими уровнями или перешифровками остаются еще по меньшей мере две координационных перешифровки, не нашедшие себе места в уровнях построения, рассмотренных до этого момента. Во-первых, идя снизу вверх, это будет перешифровка фонетическая и грамматическая (один или даже два отдельных, подчиненных один другому процесса), т.е. перевод *фонетического образа речевого звука* на язык азбучного начертания, и перевод *фонетического образа слова* на язык грамматически верного буквенного подбора (spelling): ”счетчик”, когда звучит ”щоччик”, ”Worcester” когда звучит ”Uuste”, и т.п. Во-вторых, это будет перешифровка смысловая, т.е. превращение зерна мысли или фразы на знакомом, но не родном языке или высказывания, помнящегося лишь по его общему смыслу, и т.д., в звуковой и, далее, графический образ слов, которые мы намерены написать. Еще более отчетлив пример *написания чисел,* где над фонетической перешифровкой (”три” — ”3”, ”двести” — ”200”) стоит еще смысловая или арифмо-грамматическая перешифровка (”триста семь” — 307, а не 300—7; ”einundzwanzig” — 21, а не 1—20; ”quatre-vingt dix-huit” — 98, а не 4—20—10—8 и т.д.). Под каждой из таких иерархических перешифровок угадывается свой особый уровень построения. Наконец, и патологические признаки, в особенности признак персеверации (см. гл. IX), тоже в целом ряде случаев указывает на раздельные уровни лежащие выше *D*, каждый из которых просвечивает

в патологических случаях своей особой, иначе построенной персеверацией. Нижеследующий пример из области уже проанализированных нами уровней может пояснить сказанное. Пациент, персеверирующий в уровнях *B* или *C1*, исполняя задание нарисовать кружок, не может остановиться после первого обведения контура и рисует или нескончаемый клубок на одном месте, или штопоровидную спираль (см. рис. 96). Если же персеверация обусловлена поражением в уровне действий, то подобное же задание вызывает появление целой вереницы отдельных кружков, каждый из которых ничем не патологичен сам по себе, но которые в совокупности могут заполнить собой целый лист. Разные уровни из числа уже знакомых нам дали на одно и то же задание совершенно различные персеверации.

Аналогичным образом при поражении в предметном уровне *D* пациент, способный написать по заданию, например, цифру 8, но склонный к персеверации, может воспроизвести заданную цифру в виде целого клубка восьмерок по одному месту (персеверация в высших автоматизмах уровня действий) или в виде бесконечной серии восьмерок: 8 8 8 8... (персеверация в смысловой схеме самого уровня *D*). Этот же больной на задание написать "сто двадцать" пишет 122222..., т.е. уже на втором звене верно начатого действия впадает в персеверацию последнего из указанных типов, но другой пациент на то же самое отвечает такой персеверацией: 120 120 120... Несомненно, что переход в предыдущей паре наблюдений от штопоровидной персеверации кружка к нескончаемой серии безупречных кружков вполне аналогичен описанному сейчас переходу от 122222... к 120 120 120, и если там этот переход был связан с повышением персеверации на один уровневый этаж, то у нас есть все основания ожидать и здесь подобного же соотношения. Налицо более сложный и высокий тип персеверации, явно говорящий за то, что здесь затронута перешифровка, стоящая выше уровня *D*. То же, по-видимому, справедливо и по отношению к больному, который задание написать 120 исполняет так "10020", т.е. уже без персеверационных явлений обнаруживает разрушение в той области, где должна в норме совершаться арифмо-грамматическая перешифровка, и этим подтверждает действительное существование такой области.

В ответ на предложение нарисовать дом больной[1], персеверирующий в уровне *D*, изображает либо общепринятую схему домика много раз по одному месту, либо целую улицу схематических домиков. Но к какому уровню отнести персеверацию больного, который исполняет это задание, рисуя сперва крышу в виде буквы Д, а под ней — запутанный клубок линий, ясно обнаруживающий, однако, что за Д-образной крышей последовали сначала круговые, О-образные, а под конец — ломаные, М-образные линии? Это уже не схема дома в уровне *D*, а какая-то сложная смесь схематического рисунка, идеографического иероглифа и письменного обозначения "*ДОМ*", свидетельствующая о нарушении по меньшей мере в еще одном возвышающемся над *D* уровне, в котором смыкаются между собой предметные схемы и речевые, письменные начертания. Ведь несомненно, что и исторически иероглифы египтян и китайцев возникли не в результате чисто интеллектуалистически продуманной условной символики, а в порядке слитного, синкретического мышления более примитивного типа, которое в ту пору могло проявиться и в соответственных синтетических графических координациях в норме, а в наше время всплывает тут

[1] Ряд приводимых здесь примеров больных автор заимствует из наблюдений А. Лурия, которому приносит живейшую благодарность.

и там в патологических случаях, как и еще многие другие формы примитивного мышления, а может быть, и моторики.

Все эти факты — и существование целостных двигательных актов, не укладывающихся в рамки уровня *D*, и многоярусные перешифровки, замечаемые в норме, и многоэтажные выпадения или персеверации, наблюдающиеся в патологии, — говорят в пользу существования по меньшей мере еще одного уровня, доминирующего над уровнем действий *D*, а вероятнее, еще нескольких подобных уровней. Однако недостаточность материала в этом направлении пока еще настолько ощутима, что единственно правильный выход для настоящего момента — объединить провизорно все возможные здесь высшие уровни в одну группу *E*, поскольку даже при этом условии их удастся охарактеризовать только в самых суммарных чертах. Для этой уровневой группы сейчас невозможно, как кажется, конкретизировать ни ее ведущих афферентаций, ни кортикальной локализации (кроме только явно существенных для ее эффекторики лобных долей полушарий, в частности, полей 9 и 10 Brodmann).

Прежде всего нужно обосновать утверждение, что в групее *E* мы имеем дело действительно с координационными уровнями, а не только с чисто психологическими надстройками, т.е. что двигательные акты, относящиеся к этой группе, не являются суммами движений, полностью управляемых и координируемых более низовыми уровнями и только сцепляемых между собой психологическими мотивами нового рода, а представляют собой настоящие целостные координации с особыми качествами. При всей недостаточности экспериментального материала и связанной с этим очень большой трудности найти достаточно веские обоснования для этого положения можно все-таки и сейчас высказать ряд аргументов в его пользу.

Первый аргумент вытекает из того понимания структуры актов уровня действий и функций премоторной системы, которые явились результатом приведенного выше анализа этого уровня. Этот анализ доказал возможность координационного управления двигательными процессами "сверху вниз", позволив установить, что высшие автоматизмы, встреченные нами там, не являются ни в какой мере суммами движений уровней *B* и *C*, а представляют собой совершенно особые координационные комбинации, управляемые по специфическим директивам предметного уровня, через его собственный эффекторный выход — премоторные поля. Эти автоматизированные компоненты и фоны предметного уровня, эти "высшие автоматизмы" текут в силу своей автоматизированности ниже порога сознания, всегда пребывающего в ведущем в данный момент уровне. Совершенно естественно заключить, что если мы встретимся с целостным предметным действием или цепью таких действий, текущими автоматизированно и бессознательно и приводящими при этом к смысловому результату, возвышающемуся над возможностями самого предметного уровня, то перед нами будет проявление аналогичного координационного процесса, локализованного на одну уровневую ступень выше процессов уровня действий. Такие факты действительно существуют. К ним прежде всего следует причислить движения *речи и письма*.

Как уже было указанов предыдущем разделе, речедвигательный процесс представляет собой координацию, текущую на уровне действий, с техническими фонами во всех нижележащих уровнях. Это доказывается и близким клиническим сродством между моторными афазиями и апраксиями премоторной группы, и близостью, локальной и иннервационной, меж-

ду премоторными полями коры и речедвигательным полем Broca, и схемно-топологическим характером построения речедвигательных отправлений, и наличием в них черт, совершенно аналогичных почерку, — произношения или акцента, т.е. качественной манеры, не нарушающейся при изменениях метрической стороны речи (громкости, быстроты, высоты тона голоса); доказывается, наконец, ясно выраженной монопольной смысловой связью их с предметом на некоторых ранних стадиях онтогенетического развития речи. *Называние* предмета, так же как *написание* буквы или *списывание* слова, строится в уровне предметного действия *D*. Когда же мы встречаемся с этими полностью принадлежащими предметному уровню координациями в служебной, подчиненной, роли в бессознательном или автоматическом протекании и в таких цепных синтезах, которые в целом не могут быть мотивированными предметным уровнем, т.е. встречаемся со *смысловой связной речью или таким же письмом,* мы имеем очень много оснований признать управляющие ими механизмы за особый координационный уровень в точном смысле этого слова. Аналогия речедвигательного процесса с высшими автоматизмами действительно очень велика, и хотя подробное ее прослеживание выходит из рамок этой книги, но одну существенную ее черту необходимо указать.

Выше было установлено, что движения, из которых построены автоматизмы уровня действий, несмотря на то, что координируются всегда в уровнях ниже его, тем не менее представляют собой такие двигательные формы и комбинации, которые не могли бы возникнуть в своих низовых уровнях сами по себе, без директивного управления свыше, за полным отсутствием в этих уровнях мотивов к формированию подобных двигательных отправлений. Точно так же, если в предметном уровне находятся достаточные мотивы к возникновению *речевого называния* воспринимаемого конкретного предмета, то как для появления более высокоорганизованных *семантических* (словесных) *форм* (глаголы, числительные, союзы и т.д.), так и для появления высших *грамматических форм* (склонение, спряжение, синтактическое построение речи) в предметном уровне мотивов нет и не может быть. Таким образом, управление речью с того момента, как оно переходит от уровня *D* к более высокой уровневой группе *E*, отнюдь не сводится к сцеплению или нанизыванию уже имеющихся (фактически или потенциально) в предметном уровне речевых форм, а создает на этом последнем уровне новые формы — и семантические, и грамматические, столь же речедвигательные, как и наименования конкретно воспринимаемых предметов, столь же полно координационно связанные с уровнем *D*, но генетически совершенно чуждые ему[1].

К подобным же случаям возникновения особых координаций уровня действий, бессознательно протекающих под контролем более высокого уровня, следует отнести некоторые формы координаций музыкального исполнения. Сюда нужно прежде всего причислить *координации смычка.* Выше, при разборе движений уровня

[1] Одна интересная подробность характеризиет отличие этих "сверхвысших" автоматизмов, проицирующихся из *E* в *D*, от обыкновенных, являющихся проекциями из *D* в *C* и ниже. Выработка предметного автоматизма, т.е. автоматизационная передача координаций из предметного уровня в уровень пространственного поля или в уровень синергий, сопровождается по разъясненным уже причинам *превращением топологического движения в метричное.* Действительно, автоматизмы предметного уровня всегда метричны, как известно всякому наблюдавшему их. Наоборот, автоматизмы, которые мы назвали "сверхвысшими" (из *E* и *D*), как речь, письмо, движения смычковой руки скрипача, могут при любой степени автоматизации сохранять *топологический характер.*

пространственного поля (см. гл. V), было указано, что этот уровень практически никак не участвует в построении движений смычковой руки. Зато уровень действий непосредственно связан с манипулированием этим своеобразным орудием, манипулированием, никак не сводимым ни к одной только хватке, ни к перемещению вещей в пространстве. Если, несмотря на это, движения со смычком не были рассмотрены среди актов уровня действий, то именно потому, что эти движения *ведутся* не им, а выше его лежащей группой *E*. Мотивы к тому, чтобы именно вот так водить волосами смычка по жилам, натянутым на грифе, не могут возникнуть на уровне смысловых предметных действий уже потому, что такое вождение лишено какого бы то ни было прямого смысла, связанного с вещью. Еще существеннее и самым тесным образом смыкается с нашим основным определением координации то, что уровень *D* не имеет в своем распоряжении *средств для адекватной сенсорной коррекции* подобного движения: ни художественно ценный звук, ни тем более выразительная динамика звукового последования, определяемая целостной художественной концепцией исполнителя, не содержатся в афферентационном синтезе предметного уровня, а между тем именно они и определяют собой управление всей совокупностью координационных коррекций скрипача или виолончелиста.

Итак, общая схема построения координаций смычковой руки скрипача следующая:

E — ведущий уровень, создающий мотив для двигательного акта и осуществляющий его основную смысловую коррекцию — приведение звукового результата в соответствие с намерением.

D — манипулирование с предметом — "сверхвысший" автоматизированный навык.

C — не участвует.

B — основные синергии (вторичные фоны), реализующие "сверхвысший" автоматизм уровня *D*.

A — специфическая хватка.

Наверно было бы думать, что для подобных схем построения под ведущим контролем высшей уровневой группы *E* фоновое участие уровня *D* является непременным условием. Для них существенно именно ведущее положение, занимаемое группой *E*, а отнюдь не тот или иной фоновый состав. Например, движения руки пианиста строятся по следующей примерной схеме:

E — ведущий уровень (см. сказанное о нем выше).

D — видимо, не участвует.

C — пространственные целевые, силовые и меткие движения в пространственном поле.

B — фоновые синергии: а) туше, связанного с позой тела и постановкой рук; б) фоновых компонент для уровня *C*.

Таким образом, во-первых, существование автоматизмов, управляемых и мотивационно, и коррекционно из уровней, расположенных выше предметного и даже не всегда нуждающихся в его посредничестве, явно свидетельствует о том, что эти верховные уровни не только создают особые чисто психологические надстройки для мотивации движений, но и имеют на эти последние несомненное прямо координационное влияние. Во-вторых, как было отмечено вначале, с этими верховными уровнями связаны *перешифровки и патологические персеверации,* не умещающиеся

в более низких уровнях построения. Это также убедительно говорит в пользу того, что перед нами настоящие уровни построения, имеющие свои особые координационные механизмы. Наконец, в-третьих, эта верховная группа E имеет и свои качественно особые *выпадения*. Выпадения этой группы E приходится (в очень близкой аналогии с уровнем действий D) разбить на два класса. К первому из них нужно отнести группу клинических расстройств, в свое время объединенных Monakow под названием *асемических*: сензорные афазию, алексию, асимболию, амузию и т.д., т.е. соответственно утраты смысловой речи, чтения, запаса слов, способности к музыкальному восприятию и т.д. Все эти виды выпадений объединяются одним общим признаком: потерей в той или иной области *смысловых* (уже не предметных) *мотивов*, и таким образом приближаются по характеру к выпадениям в афферентационном поле по типу апраксий Липмана. Второй класс выпадений в уровневой группе E дает характерный "лобный синдром" с определяющей его разрозненностью поведения, утерей связи между сделанным и тем, что предстоит сделать, распадом соответствия между ситуацией и действованием и т.д., т.е. синдром с эффекторным обликом выпадения. И те и другие выпадения вызываются поражениями головного мозга в отделах, отличающихся по своей локализации от поражений, дающих апрактические расстройства, и создают двигательные нарушения других типов по сравнению с апраксиями.

Таковы доводы, которые могут быть приведены в настоящее время в пользу самостоятельного существования системы E как особый координационной группы.

Мы не решимся предпринимать какой-либо классификационной попытки двигательных актов в охарактеризованной верховной уровневой группе. Помимо всего, здесь слишком велик риск впасть в ошибку, относя к числу актов, *координируемых* этой уровневой группой, и движения, только *мотивируемые* ею, но почти наверное строящиеся координационно полностью на нижележащих уровнях с D включительно. С полной уверенностью можно отнести к координациям верховной группы: 1) *все разновидности речи и письменности* (устная речь, пальцевая речь глухонемых, морзирование, сигнализация флажками и т.п.; письмо от руки, машинопись, стенография, работа на буквопечатающем телеграфе и наборных машинах и т.п.) и 2) *музыкальное, театральное и хореографическое исполнение* — non multa, sed multum.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ
РАЗВИТИЕ И РАСПАД

Глава седьмая
ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ УРОВНЕЙ ПОСТРОЕНИЯ

Предшествующие главы показали, какое существенное значение для понимания механизмов координации и структуры уровней построения имеет история их развития, как родовая, так и индивидуальная. Вопросы *онтогенеза* моториума и моторики освещены в литературе меньше, нежели неоднократно рассматривавшиеся проблемы их *филогенеза* и *морфогенеза* двигательных аппаратов (R. du Bois-Reymond, Spatz, Veraguth, Rose, Edinger, М.О. Гуревич и др.), поэтому мы несколько подробнее остановимся на первых.

Необходимо с самого начала резко ограничить приложимость к обсуждаемым проблемам "биогенетического закона" Haeckel. В области моторики между родовой и индивидуальной историей развития имеется целый ряд как принципиальных, так и фактических расхождений. Во-первых, двигательный аппарат древнего низкоразвитого позвоночного полностью отвечал тем несложным моторным задачам, которые предъявлялись ему жизнью; моториум же человеческого младенца, а тем более эмбриона, вообще почти никаких двигательных задач разрешать не может. Во-вторых, является правилом, что в онтогенезе функциональная готовность постепенно, одних за другими, созревающих нервных приборов наступает значительно позднее, чем их же анатомическая зрелость и завершение морфологического развития. На каждой очередной ступени онтогенеза решение задач, представляющих собой для этой ситуации двигательный "потолок" особи, совершается при наличии и несомненном соучастии вполне созревших вышестоящих и более молодых по филогенезу образований, которых у низших позвоночных нет и следа (Spatz, Minkowski). У ребенка, ползающего по полу, на втором году жизни пирамидная система анатомически уже вполне оформлена и налагает свой стилизующий отпечаток на стриопаллидарный, т.е. экстрапирамидный в своей основе, акт ползания, в то время как у пресмыкающихся, совершенно лишенного пирамидной коры, этот же акт выполняется striatum вполне автономно, с неминуемо проистекающими отсюда форономическими отличиями от ползания ребенка.

В-третьих, резкие отличия между фило- и онтогенезом двигательных отправлений обусловливаются неуклонным процессом эволюционной энцефализации. Не только вновь образовавшийся в порядке "обрастания" нервной системы центр *А* перенимает функции, ранее локализовавшиеся в древнем ядре *В*, отныне становящемся подчиненной системой, но и многочисленные функции, осущест-

влявшиеся до этого времени еще более старыми и низовыми системами *C, D* и т.д., теперь мигрируют в "освободившееся" ядро *B.* Этим путем древнейшие центры, как, например, спинной мозг, все больше и больше утрачивают и в степени своей самостоятельности, и в инвентаре выполнявшихся ими движений. Спинной мозг, способный у амфибий викарно вести после децеребрации такой сложный акт, как локомоция, или pallidum, способный к такому же викариату у рептилий и птиц, у человека уже фактически не пригодны ни для подобного замещения, ни вообще для чего-либо, кроме фонового обслуживания высших движений элементарными автоматизмами. Итак, и спинной мозг, и pallidum рыбы или амфибии функционально очень мало похожи на их гомологи у примата и человека как взрослого, так и в грудном возрасте; поэтому с самого начала трудно ожидать здесь каких-либо близких соответствий между ходом развития моторики в фило- и онтогенезе, и это несмотря на довольно точное в общем воспроизведение в онтогенезе процесса постепенного эволюционного обрастания центральной нервной системы, выражающееся в постепенной же миэлинизации мозговых систем в утробном и раннем постнатальном периоде.

Отвечая усложняющимся координационным задачам и попутно обретая возможность более высокопробного исполнения древних движений, центральная нервная система позвоночных проходит в своей эволюционной истории несколько последовательных этапов, не так уж резко разграниченных между собой, как это принято изображать ради схематизации, но несомненно представляющих своего рода качественные скачки вперед.

Необходимо напомнить, что каждая более новая координационная система, обогащающая животный вид целым списком новых движений и обозначаемая нами как очередной *уровень построения движений,* вносит в обиход центральной нервной системы животного прежде всего новый класс *сензорных коррекций,* т.е. если и не новое по воспринимаемому материалу качество чувствительности, то обязательно новые способы восприятия этого материала, его оценки, осмысления и синтезирования с донесениями других органов чувств, и вытекающее из этого измененное на новый лад реактивное отношение к внешнему миру. Анатомические субстраты координационных уровней, последовательно формирующихся в филогенезе, обязательно включают как моторные, так и сензорные центры, взаимосвязь которых в пределах данного уровня бывает особенно тесной. Так, параллельно с эффекторными центрами уровня палеокинетических регуляций, которыми у низших позвоночных служат ганглиозные элементы спинного мозга, а у млекопитающих в результате энцефализационного перемещения сравнительно молодые по филогенезу образования группы красного ядра, развиваются древние сензорные центры покрышки и hypothalami. Развитие уровня синергий, эффекторно обслуживаемого pallido, идет в ногу с формированием основных массивов главного сензорного средоточия головного мозга — зрительного бугра. Пирамидно-стриальному уровню пространственного поля, уже наполовину кортикальному, соответствует возникновение "транзитных" ядер metathalami — наружных и внутренних коленчатых тел, узла ganglion habenulae и обширных первично сензорных полей коры. Уровень действий оснащен в качестве эффекторов группами премоторных полей коры (6,8,42 Brodmann), а сензорно (точнее говоря, здесь уже гностически) — системой нижнетеменных полей, окруженных вторичными и третичными зонами кортикальных центров

осязания, зрения и слуха. К этому же уровню, наиболее сложному и по обилию выполняемых им движений, и по разнообразию сензорно-гностических коррекций, и, наконец, по множеству подчиняющихся ему "высших автоматизмов", примыкает в качестве содействующей системы мощный лобно-мосто-мозжечковый агрегат, попутно простирающий свои ветви глубоко в экстрапирамидную систему и создающий функциональную связь между фронтальными эффекторными центрами уровня и сензорной корой мозжечка.

Моторные центры головного мозга формируются в эмбриогенезе из двух зародышевых пластинок, обозначаемых Spatz как пристроечная (Flügelplatte) и основная (Grundplatte). Из последней, расположенной вентрально, формируется в основном экстрапирамидная, а из первой, дорзальной, — пирамидная эффекторная система.

Удобнее всего обозревать общий порядок развития и принадлежности составных элементов обеих систем к тем или другим зародышевым пузырям мозга, пользуясь нижеследующей таблицей:

Пластинки	Пузыри мозга			
	Rhombencephalon	Mesencephalon	Diencephalon	Telencephalon
Дорзальная пластинка — пирамидная система	Кора мозжечка	Tectum Corpora quadrigemina	Thalamus opticus Corpara geniculata (metathalamus) Ganglion habenulae (epithalamus)	Кора полушарий большого мозга
Вентральная пластинка — экстрапирамидная система	Nucleus dentatus мозжечка; Nucleus Deiters	Nucleus ruber Substantia nigra Nucleus nervi III	Pallidum Hypothalamus Tuber cinereum Corpus Luysii	Striatum a) nucleus caudatus b) putamen Ряд полей коры полушарий

Все органы, перечисленные в этой сводной табличке, имеют определенные хронологические пункты возникновения в сложной летописи последовательного "обрастания" мозга. Многие из них, кроме того, распадаются на резко разновозрастные подразделы, отличающиеся друг от друга и по микроскопическому строению, и по связям, и по функциям (рис. 79).

Мозжечок подразделяют на: а) *древний* (*palaeocerebellum*) и b) *новый* (*neocerebellum*). К первому относится медиальная непарная часть мозжечка — червячок и небольшие дольки его полушарий — flocculus, имеющиеся у всех позвоночных, кроме ланцетника, и достигающие высокого морфологического развития у птиц. В состав нового мозжечка входят его полушария, появляющиеся в филогенезе только у млекопитающих. В онтогенезе древние отделы мозжечка уже вполне зрелы и обложены миэлином к моменту рождения ребенка, тогда как кора его полушарий миэлинизируется лишь на протяжении первого полугодия жизни. Зубчатое ядро мозжечка — его эффекторная часть — также расчленяется на два отдела, тесно связанные соответственно с древним и новым мозжечком. Оба эти отдела дают обильную сеть проводящих путей, оканчивающихся либо в красном ядре, либо в ядре Дейтерса.

Красное ядро — ведущий представитель экстрапирамидной эффекторной

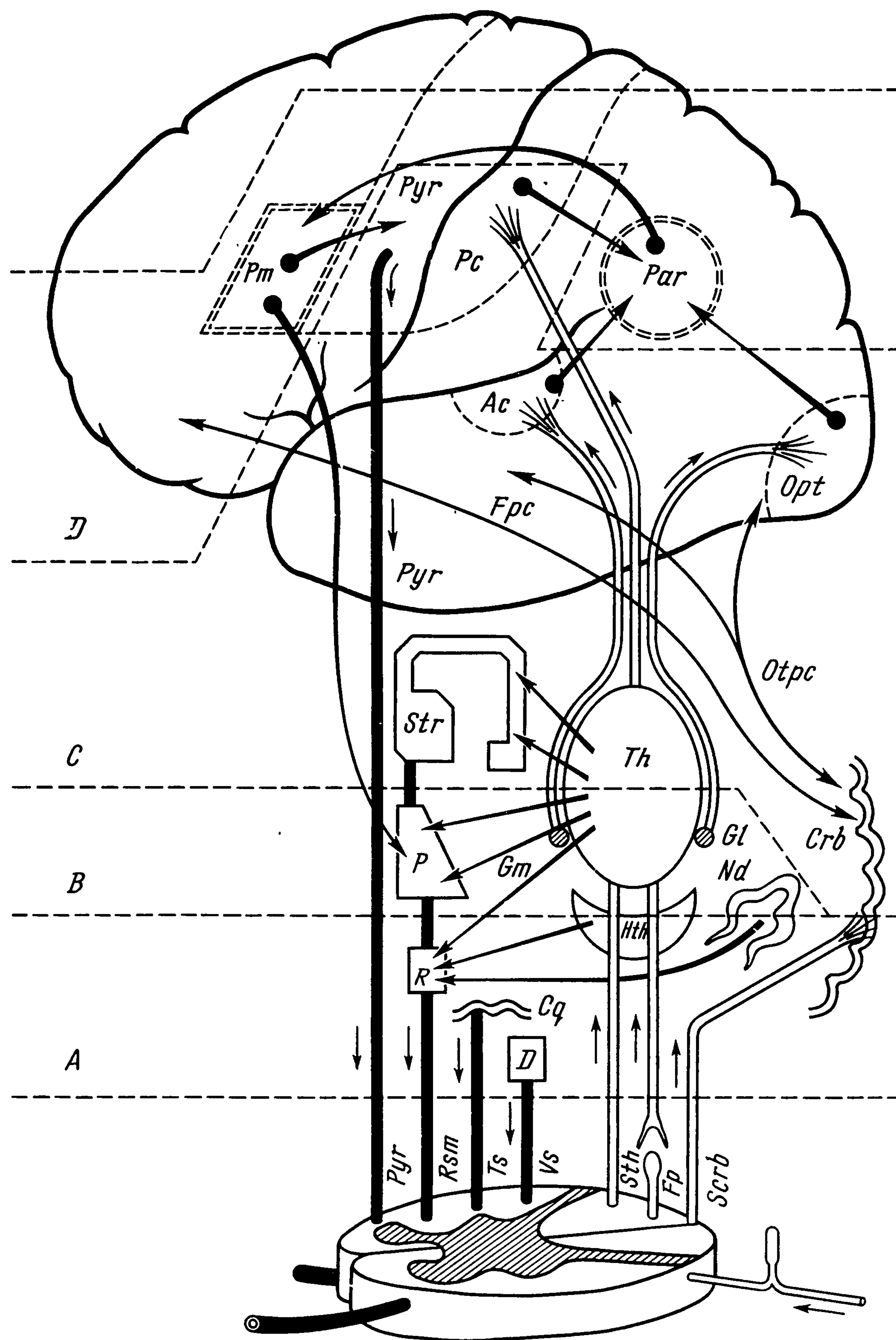


Рис. 79. Схема основных ядер и проводящих путей мозга с указанием распределения их по координационным уровням *A–D*

Для удобообозримости схемы действительное пространственное расположение ядер сильно искажено. *Ядра*: *R* – красное ядро, *D* – ядро Дейтерса, *Cq* – четверохолмие, *Hth* – hypothalamus, *Nd* – зубчатое ядро, *P* – pallidum, *Gm* – внутреннее и *Cl* — наружное коленчатое тело; *Crb* – кора мозжечка, *Str* – striatum, *Th* – зрительный бугор, *Pm* – премоторная зона коры, *Pyr* – пирамидная область, *Pc* – постцентральная извилина, *Ac* – слуховая, *Opt* – зрительная зона, *Par* – теменная область. *Пути*: *Pyr* – пирамидный, *Rsm* – рубро-спинальный, *Ts* – тектоспинальный, *Vs* – вестибулоспинальный, *Sth* – спиноталамический, *Fp* – заднестолбовой, *Scrb* – спиноцеребеллярный, *Fpc* – фронто-понтоцеребеллярный, *Otpc* — затылочно-височно-понтоцеребеллярный путь.

системы в среднем мозгу — опять-таки распадается у человека и приматов на две части, именуемые *palaeo-* и *neorubrum.* Древняя часть ядра, крупноклеточная, расположена каудально; как раз от нее и начинается рубро-спинальный эффекторный тракт Monakow. Она имеется у всех млекопитающих, начиная от самых низших[1]. С боков и спереди от нее помещаются более молодые разделы: крупноклеточный отдел с местными связями, ретикулярное ядро, в котором оканчиваются церебелло-фугальные пути, и, наконец, собственно neorubrum — ядро с мелкоклеточным строением, связанное главным образом с лобной корой и operculum. Это последнее ядро имеется только у наивысших млекопитающих — хищных и приматов, увеличиваясь и развиваясь в филогенезе параллельно с корой полушарий.

Развивающееся рядом с rubrum ядро substantia nigra связано с корой полушарий, может быть, еще теснее, чем neorubrum. Это самое крупное из ядер среднего мозга пигментировано (т.е. заслуживает эпитета "nigra") только у человека. Оно возникает в филогенезе сравнительно поздно. Это ядро распадается на две разновозрастные части. Более старая часть не пигментирована, бедна клетками и похожа по строению на pallidum, с которым связана очень интимно. Более новая часть соединена двусторонними проводящими путями как с обоими прочими центрами экстрапирамидной эффекторной системы, красным ядром и striatum, так и с корой полушарий.

Самые обширные из мозговых ядер, являющихся субстратами координационно-двигательных отправлений центральной нервной системы, развиваются из промежуточного мозга (diencephalon): это гигантская сензорная система зрительного бугра с его придатками и большой центр экстрапирамидной эффекторной системы — pallidum.

Система *зрительного бугра* составляется из собственно thalamus и придатков его: metathalami, которому принадлежат промежуточные центры зрения и слуха — коленчатые тела, и epithalami, включающего такой же транзитный центр обоняния — ganglion habenulae. Thalamus в тесном смысле распадается на: а) разделы, к которым прибывают вторые невроны проводящих сензорных путей с периферии тела, и в) разделы, обладающие двусторонними невронными связями с вышестоящими центрами — с корой полушарий. В первых, более каудальных, оканчиваются аксоны задних столбов и спино-таламического тракта спинного мозга и аксоны тройничного нерва, т.е. полностью *вся тангорецепторика,* за исключением только вкуса: проприоцептивная, осязательная, болевая и температурная чувствительность со всего тела. Thalamus обладает исключительным обилием центрально-нервных связей и богатой цитоархитектонической расчлененностью (O. & C. Vogt насчитывают в нем у обезьян свыше 40 участков). Следует отметить резкий, *не отразившийся* биогенетически в индивидуальном развитии человека перелом, пережитый зрительным бугром в эволюционной истории. Гомологи зрительных бугров у холоднокровных (lobi optici) являются верховными центрами тангорецепторики, в то время как такая же верховная функция для телерецепторов реализуется ядрами покрышки среднего мозга.

---

[1] Ни для красного ядра, ни для substantia nigra и corpus Luysii млекопитающих не установлено надежных гомологов у рептилий и птиц. Само красное ядро очень сильно изменяется в филогенезе млекопитающих. Для substantia nigra предположительными гомологами у птиц являются nuclei ectopedunculares, для corpus Luysii — nucleus rotundus (*Ariëns Kappers, Spatz*).

У птиц и млекопитающих с появлением и развитием сензорной коры полушарий (гораздо более древней, чем моторная) вся чувствительность постепенно переключается на двухневронную внутримозговую схему: thalamus в тесном смысле становится транзитным центром для тангорецепторики, а его более молодые придатки, meta- и epithalamus — для телерецепторики, транслируя сензорную сигнализацию обоих видов в кору. Эта передача совершается с очень глубокой предварительной переработкой сигналов в системе thalami, причем значительный их процент отсеивается таламической системой, обращается ею через обширные синаптические связи thalami непосредственно в экстрапирамидную эффекторную систему и в связи с этим не достигает порога сознания, обеспечивая в то же время адекватные координированные реакции и их фоновые элементы.

Верховный, эффекторный центр низших позвоночных (рыб и амфибий), *pallidum*, цитоархитектонически построен очень просто. Он не расчленяется на поля; в нем резко преобладает один вид клеток — крупных, с длинными дендритами, похожих на двигательные клетки моторной зоны коры. Внутри самого pallidi пролегает много миэлинизированных аксонов, придающих ему бледную окраску, обусловившую его название. *Corpus Luysii,* тесно примыкающее к pallido и по связям, и по ходу развития, появляется, однако, в филогенезе гораздо позднее его — только у млекопитающих. Сам pallidum очень мало изменяется в филогенезе; он только разделяется на две части прослойкой белого вещества, начиная с приматов. Связи pallidi определяются его срединным положением в экстрапирамидной эффекторной системе: *к нему* подходят объемистые пучки волокон от его сензорного спутника — зрительного бугра и от возглавляющего pallidum эффекторного центра — полосатого тела (striatum). *От него* отходит массивный проводящий путь к контралатеральному красному ядру (это и есть эффекторный путь pallidi) и к его менее значительным соседям. У человека к моменту рождения все эти пути миэлинизированы и вполне готовы к действию.

Наконец, из оконечного раздвоенного мозгового пузыря (telencephalon) возникают и развиваются высшие эффекторные приборы головного мозга, наиболее новые филогенетические: *corpus striatum,* или полосатое тело, — из вентральной зародышевой пластинки, а *эффекторные поля коры* (пирамидные, премоторные и фронтальные) — из дорзальной пластинки.

Striatum возникает в филогенезе, начиная с пресмыкающихся; его появление ставят в связь с утверждающимся переходом на сухопутные формы локомоций (ползание, лазание по скалам и деревьям), свойственные еще животным. Он достигает вершины своего развития у птиц, еще лишенных пирамидной системы и полушарий мозжечка. У млекопитающих stiatum разделяется на два парных ядра, территориально далеко расходящихся друг от друга: хвостатое ядро (n. caudatus) и скорлупу (putamen). У человека стриальная система еще не развита к моменту рождения и одевается миэлином только к пятому-шестому месяцу жизни. Striatum построен сложнее pallidi: он содержит два вида клеток, не обнаруживая, впрочем, какой-либо расчлененности по цитоархитектоническому признаку. Напротив, putamen очень сходен по своему строению с nucleo caudato.

Из двух типов клеток striati многочисленные мелкие, с короткими аксонами, не выходящими за его пределы, считаются его рецепторными клетками. Редко разбросанные там и сям крупные эффекторные клетки *все* направляют свои аксоны

в pallidum: других эффекторных выходов у striatum явно нет. Афферентация striati почти целиком проистекает из thalamus. Связь с корой полушарий, для pallidum бесспорная, здесь не доказана.

Новейшие органы моторики в головном мозгу, возникающие и развивающиеся позднее других как в фило-, так и в онтогенезе, — это *пирамидная эффекторная система* и в известном смысле надстроенные над ней фронтальные системы коры полушарий. В филогенезе пирамидная эффекторная система появляется только у млекопитающих. У низших млекопитающих — грызунов — имеется вначале только одно гигантопирамидное поле 4 с эффекторными клетками Беца в пятом слое, но оно уже велико и порядочно расчленено. У более одаренных моторно грызунов, как белка и заяц, намечается премоторная зона 6 Vogt (М.О. Гуревич, Г.Х. Быховская; см. рис. 71). Передняя гранулярная область (поля 8 и 12) появляется только у хищных, у которых премоторные поля 6 достигают значительного развития. У собакоголовых обезьян прибавляется еще поле 9 в лобных долях, у высших обезьян — фронтальные поля 10 и 11; наконец, у человека появляется еще целая полоса совсем новых полей в лобной доле (44 по 47 Brodmann), а премоторная зона начинает резко преобладать над первичной моторной пирамидной зоной. Функциональная расчлененность последней у высших обезьян и человека очень велика, обеспечивая точную соматотопическую проекцию почти каждой мышцы тела. Правда, изобилующие как между отдельными возбудимыми элементами пирамидной зоны, так и между ними и элементами примыкающего к ней спереди премоторного поля крайне динамичные и тонкие функциональные взаимовлияния очень осложняют эту сомато-топическую ясность; всевозможные явления облегчения (facilitation), одновременной и сукцессивной индукции и т.д. в значительной степени маскируют и смазывают ее при точных опытах (Leyton & Sherrington, Grünbaum, Lashley и др.).

В онтогенезе эти кортикальные системы созревают еще значительно позднее экстрапирамидных: у человека пирамидная эффекторная система и ее проводящий путь в спинной мозг окончательно миэлинизируются только во втором полугодии внеутробной жизни, а премоторные и фронтальные системы — на втором году жизни. Как будет показано ниже, эта постепенность очень явственно сказывается на развитии моторики маленького ребенка.

Приведенный очерк морфогенеза эффекторных систем необходимо дополнить хотя бы самым кратким обзором филогенетической истории развития их физиологических отправлений.

Следующая схема была предложена в основном Foix-Nicolesco и дополнена М.О. Гуревичем, а позднее — автором. Она разделяет весь ход постепенного обогащения моторики позвоночных на четыре последовательные ступени. Эти ступени сопряжены с вступлением в строй, по прежним авторам, очередных, более новых и высокостоящих *эффекторных ядер,* а по воззрениям, излагаемым в настоящей книге, — очередных, переслаивающих друг друга *координационных уровней построения,* включающих в состав своих субстратов как эффекторные, так и рецепторные структурные элементы. Как это будет видно из дальнейшего, схема Foix-Nicolesco очень близка к нашей, изложенной в предыдущих главах, лестнице уровней.

Самая ранняя из этих ступеней соответствует примату *талама-паллидарной системы* и имеет место у рыб, отчасти у земноводных. Для нее характерны

монотонные, плавные движения, охватывающие все тело, представляющие собой что-то вроде перистальтических волн. Эти движения — плавников, хвостовых перьев и т.п. — не прекращаются ни на минуту даже и при спокойном стоянии рыбы на одном месте. В инвентаре движений почти все 100% составляют плавательные локомоции, оформляемые как крайне обобщенные, охватывающие все тело синергии. Движения по большей части неторопливы, округлы и ритмичны.

Вторая ступень характеризуется первенствующим положением striati, т.е. того образования, которое соответствует в нашей систематизации *нижнему подуровню С1 пространственного поля.* Эта ступень начинает развиваться у сухопутных амфибий, четко представлена у рептилий и достигает кульминационной точки своего развития у птиц. Преобладание striati с доступными ему качествами сензорных коррекций обеспечивает этим животным их сложные локомоции ползания, лазания и летания — передвижения уже не "туловищного", а "конечностного" стиля. Очень высокой ступени развития достигает владение равновесия. Статика уравновешенной *позы* не составляет проблемы для рыбы; здесь, напротив, вырабатываемая целая система стато-кинетических регулирующих механизмов. Сохраняя все фоновые синергетические возможности, обеспечиваемые им ушедшей вглубь таламо-паллидарной системой, животные эти располагают уже средствами для их затормаживания и регуляции. Они способны застывать неподвижно и, наоборот, делать порывистые броски. Движения туловища, головы и шеи имеют своеобразный атетоидный характер, вязкий, тестообразный, сменяясь временами на восковую, статуеобразную неподвижность, совершенно чуждую млекопитающим. Этот самый стиль, к слову сказать, сохраняют движения данного уровня и у человека, когда патологические условия вызывают его гиперфункцию. Наряду с осложнением и увеличением разнообразия локомоций имеет место и возникновение целого ряда движений других категорий, иногда достигающих высокого координационного совершенства и создающих (вполне ложную) иллюзию принадлежности их к уровню действий (например, витье гнезд). Птице доступны многочисленные движения, никогда не встречаемые у рыбы: движения туалета, смазывание перьев жиром, кормление птенцов и т.п. Здесь впервые появляются выразительные движения и звуки: мертвенные крики лягушек сменяются песней, возникает и танец. Ориентировка в пространстве и точность целевых локомоторных перемещений достигают высокого совершенства, говоря о начинающемся уже (у наиболее высокоразвитых хищных птиц) развитии верхнего подуровня пространственного поля *С2.* Истинных предметных действий — праксий из уровня *D* еще нет и следа. Пластичность и способность к построению новых двигательных комбинаций очень низки.

Третья ступень — господство уровня *пространственного поля С во всем его объеме,* сопряженное с возникновением и развитием пирамидной эффекторной системы и наступающее впервые у млекопитающих. Опять-таки, не теряя качественно ничего из координаций, приобретенных на предыдущих двух ступенях, животные приобретают сверх этого большой и все возрастающий процент однократных, не стереотипных целевых движений нападения, охоты, скачка и т.д. Все более возрастает пластичность, дрессируемость, способность к импровизации ad hoc новых двигательных комбинаций. Резко разнообразятся движения туалета и самообслуживания. Очень обильными становятся образующие уже переход к предметным действиям игры в компании, педагогические действия и по-

казы и т.д., отсутствующие у более древних классов позвоночных. Наряду с выразительными *звуками* и интонациями появляется мимика и выразительные *движения.* Вся совокупность движений утрачивает тот вязкий, липкий стиль, сменяемый статуеобразными застываниями тела, который везде и всегда свойствен преобладанию стриальных иннерваций. Движения становятся эластичными, напоминающими движения пружины; покой перестает быть абсолютным, насыщаясь то адверсивными, настораживательными движениями, то привычными ритмическими покачиваниями хвоста, то еще иной непроизвольной двигательной мелочью. Постепенно начинают появляться истинные смысловые цепи, свидетельствующие о возникновении зачатков предметного уровня.

Намеченная М.О. Гуревичем четвертая, *фронтальная;* ступень приобретает главенствующее положение у приматов и человека, но скачок, проделываемый ею от высшей обезьяны до человека, колоссален. Если в экстрапирамидных движениях человек совершил по сравнению с птицами неоспоримый шаг назад; если в движениях, входящих в инвентарь уровня пространственного поля, целый ряд млекопитающих превосходит своей моторикой человека: одни — по резвости, другие — по силе, третьи — по меткости, устойчивости, неутомимости, дальности прыжка, совершенству равновесия и т.п., то в области предметных действий и смысловых цепей все, чем располагают даже антропоидные обезьяны, является лишь элементарными зачатками по сравнению с неисчислимыми психомоторными богатствами, освоенными человеком. В предыдущей главе были рассмотрены как немногочисленные примеры действий из уровня *D* у млекопитающих, так и главные характеристики двигательных проявлений этого уровня у человека, и к сказанному более не остается ничего добавить.

Обращаемся к очерку развития координации в *онтогенезе человека.* В этой главе будет рассмотрен *естественный ход* развития моторики в детском возрасте. То, что касается выработки новых двигательных навыков, обучения, тренировки и тренируемости у взрослого индивида, составит предмет отдельной (VIII) главы.

Естественный онтогенез моторики складывается из двух очень разновременных фаз. Первая фаза есть анатомическое дозревание центральнонервных субстратов двигательных функций, как уже сказано, запаздывающее к моменту рождения и заканчивающееся (по крайней мере, в отношении миэлинизации) к 2—2,5-годовалому возрасту. Это дозревание сопровождается и функциональным столь же поочередным вступлением в строй мозговых эффекторных систем; однако же полного совершенства и налаженности своих отправлений они достигают значительно позже. Вторая фаза, затягивающаяся иногда довольно далеко за возраст полового созревания, и есть фаза окончательного функционального дозревания и налаживания работы координационных уровней. В этой фазе развитие моторики идет даже не все время чисто прогрессивно: в некоторые моменты и по отношению к некоторым классам движений могут иметь место временные остановки и даже регрессы, создающие сложные колебания пропорций и равновесия между координационными уровнями. Что именно соответствует анатомически этому функциональному дозреванию — еще совершенно не ясно.

По характеристике Veraguth уже внутриутробные движения, наблюдаемые с шестого месяца беременности, свидетельствуют об очень дифференцированной

деятельности промежуточных (рефлексообразующих) систем спинного мозга. Самые первые движения новорожденного — дыхание и крик. При первом же прикладывании к груди ребенок способен уже повернуть голову, ища сосок. С этого же момента начинают действовать рефлексы сосания и поворота головы к пальцу, прикасающемуся к щеке.

У грудного ребенка в первые дни после рождения наблюдается еще ряд координированных рефлексов: например, на щекотание булавочной головкой спинки ребенка, лежащего на животе, он отвечает либо отодвиганием позвоночника в сторону от раздражения, либо резким, распрямляющим спину сокращением длинных мышц позвоночника (m. erectoris trunci).

Очень важно для уяснения моторики новорожденного помнить, что проводящие пути кортикальных моторных систем и striati и, в известной мере, концевого звена экстрапирамидной эффекторной системы, красного ядра еще не обложены к моменту рождения миэлином, так что вполне готова к действию только таламо-паллидарная система головного мозга. По "потолковому" уровню новорожденного Foerster называет его "Thalamus—Pallidum—Wesen", многими чертами своего поведения и поз обнаруживающим свое филогенетическое происхождение от обезьяноподобных предков. "Только в результате дозревания striati первоначальная паллидарная функция — тип карабкания — оттесняется, тормозится, и от нее сохраняются благодаря механизмам избирательного торможения одни лишь целесообразные элементы. Обузданный этим путем pallidum включается уже и на службу моторики взрослого" (Foerster).

Раз речь уже зашла об обуздывании и притормаживании pallidi, надо сказать, что не раз отмечавшееся бесспорное сходство движений грудного ребенка с патологическими движениями атетоза (Meynert, Freud, Spatz), несомненно, связано с тем, что при атетозе, вследствие поражения striati, происходит "высвобождение скованных в норме фило- и онтогенетически низовых двигательных механизмов" (Economo), осуществляемых pallido.

Грудной ребенок продолжает оставаться "таламо-паллидарным существом" все первое полугодие жизни. В это время ему присущи "массовые, не дифференцированные движения автоматического и защитного характера" паллидарного происхождения. "В первые месяцы жизни у ребенка преобладают охватывающие и хватательные рефлексы, как у обезьян"; "примитивные двигательные реакции, которые у взрослых затормаживаются и выявляются лишь при патологических условиях: сюда относятся мезенцефалические рефлексы Magnus (Lage-und Bewegungsreflexe)". При этом имеют место "массовые двигательные реакции, иногда с характером, напоминающим элементы лазанья и обхватывания, элементарные выразительные движения (недифференцированные реакции страха — Peiper), симптомы Бабинского и Моро, супинационное положение ног, которое лишь постепенно превращается в дорзальную и плантарную флексии, атетоидные движения и т.п." (М.О. Гуревич).

Veraguth отмечает в этом же периоде то, что он называет Strampelbewegungen (брыкательные движения): ротация плеч внутрь, чередующиеся сгибания и разгибания в тазобедренном и коленном сочленениях. Эти двигательные синергии часто связаны с движениями в дистальных суставах, хватательными движениями кистей и интенсивной игрой ножных пальцев. Пути, по которым вызываются эти движения, — рубро- и вестибулоспинальные, т.е. низовые экстрапирамид-

ные; в качестве вызывающих раздражений уже возможны проприоцептивные, обусловливаемые смещениями центров тяжести частей тела.

Итак, оба автора, и М.О. Гуревич, и Veraguth, согласно отмечают высокий процент разлитых, но вполне бесполезных, иногда реактивных, но чаще спонтанных синергий.

Заслуживает упоминания, что в раннем постнатальном периоде человека отсутствует один переломный момент, очень характерно выступающий у тех млекопитающих, которые родятся слепыми. У новорожденных котят, щенят в течение всего времени до открытия глаз совершенно отсутствует субординационная регуляция хронаксий и тонуса, что ярко проявляется в их медленных, дрожащих, "пресмыкающихся" телодвижениях на расползающихся в стороны лапках. Хронаксии мышц конечностей держатся все это время на очень высоком уровне. Момент прозревания сопровождается, синхронно или почти, скачкообразным включением механизмов субординации, столь же быстрым снижением мышечных хронаксий до их нормальных значений (Аршавский) и включением в рефлекторную деятельность проприоцептивной чувствительной системы, до этой поры неработоспособной[1].

Пяти-шестимесячный возраст — очень важный переломный момент в моторике грудного ребенка. К этому времени более или менее одновременно заканчивается анатомические созревание двух важнейших систем: обкладываются миэлином и вступают в работу: 1) *группа красного ядра* с подходящими к этому ядру путями, обеспечивающая функцию низового уровня *А* палеокинетических регуляций, и 2) *striatum* с его эффекторными путями к pallidum, являющийся субстратом эффекторной части нижнего подуровня пространственного поля *C1*.

Если подытожить главные функциональные приобретения, которые обусловливаются этим морфологическим обогащением, то получится следующее.

В отношении *статики* — к началу второго полугодия жизни ребенок обретает *позу*. До этого времени его туловище лежало на спине, тяжелое и неподвижное, а присоединенные к нему короткие и слабые конечности совершали только всевозможные брыкательные движения вхолостую, без полезной нагрузки и чего бы то ни было, что объединяло бы эти движения между собой. Striatum (и содружественно с ним дозревающая система красного ядра) приносит с собой *позу*: уровень *А* — ее тонические и рефлекторные предпосылки и возможности, уровень $C\bar{I}$ — ее синергетическую лепку. Ребенок приобретает возможность садиться, ложиться, сидеть, переворачиваться на живот, а еще немного спустя — вставать и стоять.

В *динамике* можно подытожить наступающие в это время изменения как переход от *синкинезий* к *синергиям*. Под первыми мы понимаем одновременные движения, лишенные смысловой связи и у взрослого всегда являющиеся патологией; под вторыми — содружественные движения или их компоненты, направленные к совместному разрешению определенной двигательной задачи. В первом полугодии уже само положение ребенка не позволяло ему ничего, кроме разрозненных движений конечностей вхолостую. Теперь туловище из мертвого груза становится органом подвижной опоры и движения; конечности начинают

---

[1] До этого момента прозревания обычно не удается вызвать у детеныша и феномена децеребрационной ригидности.

работать с нагрузкой, зачастую используясь как упоры[1]. Эта перемена опирается как на вступление в работу рефлекторного шейно-туловищного тонуса (т.е. на правильное функционирование уровня *A*), так и на прогресс в чисто анатомическом развитии скелета и мускулатуры конечностей[2].

Хотя определение новорожденного как "таламо-паллидарного существа" в общем верно, а к моменту рождения таламо-паллидарный уровень у него работоспособен, но в самом первом периоде жизни от pallidum, хотя и монополиста по синергиям, пригодных на что-либо синергий получается мало: до окончательного созревания рубро-спинальной системы уровень синергий имеет в своем распоряжении лишь скудные и непрямые выходы к клеткам передних рогов.

Вступающий в описываемое время в работу уровень *A* приносит с собой еще и правильное функционирование вестибулярной системы, как отолитовых аппаратов, так и полукружных каналов, а это создает для ребенка возможность поддержания динамического равновесия при сидении, вставании и поворотах, регулирует, в свою очередь, его мышечный тонус и приводит к зачаткам активного синтетического познавания ребенком сперва пространственных очертаний собственного тела (Körperschema), а затем и окружающего пространственного поля.

В это же переломное время начинается прогресс и в области *издавания звуков.* Язык и голосовой аппарат — инструмент, на котором по ходу онтогенеза по очереди упражняются все координационные уровни. Таламо-паллидарный уровень синергий, с которым ребенок родится на свет, в состоянии извлечь из него одни лишь невыразительные звуки: первый младенческий крик, бурчанье, гуленье с лишенным какого бы то ни было смыслового значения "агу" и т.п. Первые месяцы жизни ребенок не умеет плакать, а может только кричать. Точно так же совершенно отсутствует мимика: существуют только гримасы — синкинезии, являющиеся свободной, ничего не выражающей игрой мышц.

Стриальный подуровень приносит с собой две важнейшие звуковые и мимические синергии — *смех и плач;* появляется выразительная мимика, отражающая элементарные эмоции удовольствия, страдания, испуга, интереса, гнева. Последующее включение пирамидного, верхнего подуровня пространственного поля *C2* дает (забегаем здесь несколько вперед) все еще нечленораздельные, но уже целевые звуки типа требования. Наконец, созревание премоторных полей (к числу которых принадлежит и поле *D*) и системы уровня действий даст ребенку на втором году жизни первые настоящие слова речи.

Все второе полугодие жизни протекает под знаком постепенного дозревания уровня пространственного поля с понемногу завершающимся внедрением пирамидных механизмов верхнего подуровня, вытесняющих старые паллидарные сур-

---

[1] При вставании грудной ребенок использует довольно сложный прием, обозначаемый Schaltenbrand как *quadrupedales Syndrom:* поворачивание со спины на живот, вставание на четвереньки, выпрямление колен, все еще стоя на четвереньках, наконец, вставание на ножки — вместо обычного для взрослого человека вставания со спины путем подъема туловища за счет сгибания тазобедренных сочленений. У грудного ребенка момент тяжести туловища с головой слишком велик сравнительно с моментом ног для используемости взрослого приема.

[2] Kleist указывает на возможное локализационное разделение статических и динамических функций в экстрапирамидной эффекторной системе: *статика* осуществляется внутренним ядром pallidi и скорлупой (putamen) striati, *динамика* — наружным ядром pallidi и nucleo caudato striati.

рогаты. Очень выразителен здесь пример, характеризующий развитие в раннем онтогенезе одной из простейших психомоторных функций — *схватывания предмета.* В первые же недели жизни ребенок способен уже зажать в ручке сгибательным движением пальцев предмет, подсунутый ему в ладонь и раздраживший ее тактильные окончания. Это есть более или менее беспримесный спинальный рефлекс, может быть, слегка подкрашенный участием рубро-спинального уровня *А*. С четвертого-пятого месяца начинаются попытки схватывания зрительно воспринятого предмета (например, яркой игрушки, подвешенной в поле зрения). Эти попытки выглядят как очень диффузные, беспорядочные и иррадиированные синкинезии, нечто вроде бурных вспышек барахтания, при которых приходят в чередущееся ритмически качательное движение все четыре конечности и в которые втягивается мускулатура и лица, и шеи, и туловища. Такой приступ иррадиированного двигательного возбуждения может привести к случайному столкновению ладони с желаемым предметом и успешному его захватыванию; тогда все на этом и заканчивается. Если же такого удачного исхода не последовало, то вспышка иссякает сама собой, чтобы через десяток-другой секунд дать место следующему подобному же приступу. На втором полугодии жизни сквозь подобные гиперкинетические, типично таламо-паллидарные взрывы начинают пробиваться, чередуясь с ними, однократные, простые целевые движения одной ручки за предметом на уровне пространственного поля — сперва неточные, атактические, с большим процентом промахиваний, а в дальнейшем все более и более адекватные. К годовалому возрасту у нормального ребенка хватательный процесс уже окончательно переключается на пирамидную систему — на наиболее адекватный ему уровень пространственного поля. Эта последовательность в развитии акта хватания, как показано ниже, демонстрирует, как по мере

Уровень	Характер движения	Афферентация
A	Защелкивание (Sperrung)	Тактильная
B	Синкинезии, гиперкинез	Зрительное диффузное раздражение
C	Целевое однократное движение; атаксия, позднее — точное попадание	Зрительный образ вещи в координатах пространственного поля

онтогенетического развития и созревания координационных уровней и кинетических систем двигательный акт ползет по уровням кверху вплоть до того, на котором он будет реализоваться далее во взрослом состоянии.

Своеобразно, что схватывание видимого предмета 4—5-месячным ребенком продолжает иногда совершаться с описанными иррадиациями и гиперкинезами еще и тогда, когда затаскивание в рот предмета, находящегося в руке, выполняется уже вполне координированным, простым и однократным флексорным движением. По-видимому, это объясняется тем, что движение ручки *ко рту* с предметом или без него соответствует по направлению естественному влечению ребенка, в том время как для схватывания и присвоения себе предмета, подвешенного в поле зрения, необходимо сделать противоречащее примитивному влечению экстензорное движение *от себя,* что удается позже и значительно труднее.

Все второе полугодие жизни представляет собой *прелокомоторный период* развития моторики: подготовку к ходьбе и бегу и широкое использование локомоторных суррогатов — ползания. Для уяснения сущности этой подготовки к локомоциям напомним, что законченная координационная структура ходьбы и бега включает содружественную работу всех уровней построения снизу доверху. От рубро-спинального уровня идут механизмы: 1) динамического управления тонусом как туловища, так и конечностей, 2) прямой и перекрестной реципрокной иннервации и 3) вестибуло-мозжечкового контроля равновесия. Таламо-паллидарный уровень обеспечивает основную громадную синергию ходьбы, включающую в ритмическом чередовании почти все 100% скелетной мускулатуры. Стриальный подуровень осуществляет прилаживание обобщенной паллидарной синергии, еще не относимой самим уровнем *B* к внешнему пространству, к фактической обстановке ходьбы: фактуре и неровностям почвы, ступенькам, наклонам, канавкам и т.д. Наконец, верхний, пирамидный подуровень пространственного поля наслаивает на этот уже вполне реальный и целесообразный процесс передвижения то, что придает ему непосредственно целевой характер пройти туда-то, за тем-то, по дороге обернуться и взять то-то, метнуть с разбега мяч или гранату и т.п.

Опираясь на это расчленение, легче ориентировать в той интенсивной подготовительной работе, которая совершается в течение прелокомоторного полугодия в двигательной сфере ребенка.

Еще до окончательного вытеснения кажущихся бесцельными "брыкательных" движений у ребенка формируются столь важные для локомоции основные движения, участвующие в актах сидения и стояния и связанные с работой распрямляющих мышц туловища и тазового пояса, — главных стабилизаторов равновесия всего тела. В этом периоде тело научается удерживать и нести свою массу над минимальными поверхностями опоры. Для интеграции этих уравновешивающих движений необходимы процессы, выполняемые экстрапирамидной эффекторной системой, в особенности передаваемые ею импульсы вестибуло-мозжечковой системы (Veraguth).

В этом самом раннем периоде подготовки к ходьбе ребенок сталкивается с рядом добавочных чисто антропометрических затруднений, исчезающих в более позднем возрасте. Нижние конечности, особенно тазобедренная мускулатура, очень слабы. Сами ножки коротки и вдобавок полусогнуты из-за незакончившегося формирования нормального поясничного лордоза. Общий центр тяжести тела, вследствие относительно очень больших масс туловища и головы и указанной короткости ног, располагается более высоко над тазобедренной осью, нежели у взрослого. Это создает очень значительный момент (рычага) верхней части тела относительно тазобедренной оси и при слабой мускулатуре этой области ведет к беспрестанным подгибаниям тазобедренных суставов. Недаром годовалый ребенок так часто шлепается на ягодицы, благо ему невысоко падать. Относительно меньшие, чем у взрослого, опорные площадки подошв также создают ребенку дополнительные трудности. Все наблюдения выделяют в качестве основных затруднений этого периода два: поддерживание равновесия и борьба с моментом тяжести относительно тазобедренной оси.

Далее для локомоции необходима как предпосылка известная надежность работы промежуточных систем: тонкая, балансирующая игра мышц стопы при сто-

янии, перекрестная шагательная синергия ("stepping") и т.д Дальше следуют высокодифференцированные регуляции с мозжечка, транслируемые через красное ядро: борьба с силой тяжести, уменье целесообразно перемещать общий центр тяжести тела, установка и движения ног и т.д. Все эти приобретения указывают на достигаемый к этому времени высокий класс регуляций с мозжечка, красного ядра и таламо-паллидарной системы.

Амплитуды и темпы локомоторных движений обусловливаются в основном аппаратами экстрапирамидной эффекторной системы, импульсы которых передаются через красное ядро и рубро-спинальный тракт.

Настоящая двуногая локомоция развивается в начале второго года жизни (рис. 80, *не помещен. — Примеч. ред.*). "До этого времени, помимо недоразвития нервных аппаратов, мускульная ситема нижних конечностей и даже их вес сравнительно с весом всего тела слишком недостаточны для поддержания статики. В возрасте 1—2 лет отмечаются неуклюжесть и неустойчивость движений, зависящие от недостаточной дифференцировки и отсутствия необходимой регуляции тонуса. У детей этого возраста налаживаются выразительные и защитные движения и начинают появляться обиходные движения (т.е. движения быта и самообслуживания. — *Н.Б.*). Таким образом, стриальные функции в их статических и кинетических проявлениях достигают значительного развития, пирамидные же функции развиты еще очень слабо, движения крайне неточны, наблюдается масса синкинезий. Положение тела характеризуется наличием некоторого лордоза" (М.О. Гуревич).

Локомоция ребенка второго года жизни — это не ходьба и не бег, а нечто еще не определившееся и не дифференцированное (Т.С. Попова). Дивергенция бега от ходьбы начинается не ранее третьего года жизни (рис. 81). Сложная биодинамическая структура ходьбы, свойственная взрослому, еще совершенно отсутствует у начинающего ходить ребенка. Вместо обширной гармоничной системы импульсов, заполняющих в неизменном порядке и конфигурации силовые кривые ножных звеньев взрослого на протяжении одного двойного шага, у 12—18-месячного ребенка налицо только одна пара взаимно обратных (реципрокных) импульсов — один прямого, другой попятного направления, совпадающих с тем, что наблюдается, например, при шагательном рефлексе (stepping) у децеребрированных кошек. Эта стадия *иннервационного примитива* длится около года, т.е. примерно до начала третьего года жизни.

Полный инвентарь динамических импульсов ходьбы развивается далеко не сразу, заполняясь окончательно только к пятилетнему возрасту. Очень постепенно отдельные элементы силовых кривых переходят из группы непостоянных, встречающихся не в каждом шаге и имеющих тенденцию пропадать при увеличении темпа ходьбы, в категорию постоянно появляющихся при медленных темпах и, наконец, в группу безусловно постоянных. Таким образом, постепенное появление и закрепление новых структурных элементов не стоят ни в какой связи с выработкой элементарной координации и равновесия при ходьбе: в 3—4 года ребенок не только уже давно безукоризненно ходит, но и бегает, прыгает на одной ножке, катается на скутере или на трехколесном велосипеде и т.п. Это значит, что механизмы координирования всевозможных видов локомоций и поддержания равновесия выработаны к этому времени давно и прочно; те же структурные элементы, о которых здесь идет речь, имеют, очевидно, иное



Рис. 81. Циклограммы движения голеностопного сочленения и кончика стопы при "ходьбе" и "беге" двух детей 1 года 4 мес. Разница сказывается почти только в незначительных отличиях длины шага (Т.С. Попова)

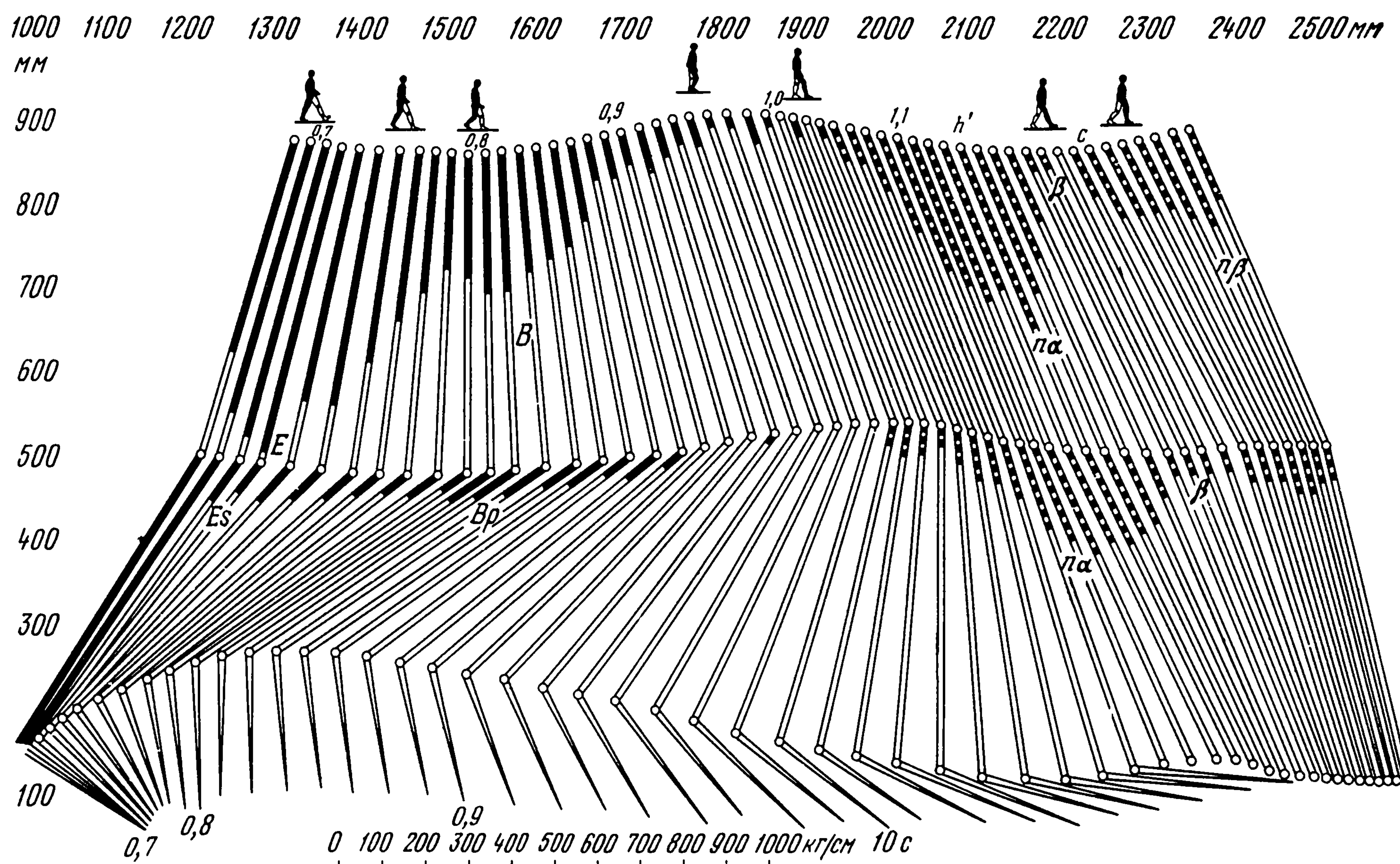


Рис. 82. Последовательные положения правой ноги при ходьбе на протяжении переносного времени с обозначением фаз важнейших силовых волн ходьбы и с нанесенными значениями равнодействующих мышечных силовых моментов в сочленениях ноги

Моменты тазобедренной мускулатуры обозначены полосками различной длины на бедрах; моменты коленной мускулатуры — на голенях; моменты, направленные вперед (разгибательные), изображены черными; моменты, направленные назад (сгибательные), — штрихованными полосками (работа автора, ВИЭМ, 1935 г.)

значение и связаны с более тонкими деталями двигательного акта. С точки зрения нервной структуры ходьбы характеризуемые динамические элементы отражают собой сложную синергетическую работу таламо-паллидарного уровня и, как видно из изложенного, их выработка запаздывает на целые годы по сравнению с временем анатомического дозревания не только pallidi, но и striati, и пирамидной системы.

Дальнейшие циклограмметрические наблюдения Т.С. Поповой показывают, что развитие динамической структуры ходьбы протекает в онтогенезе отнюдь

не по кратчайшему пути. Примерно в период между 5 и 6 годами имеет место подчас огромное перепроизводство динамических импульсов в ножных силовых кривых при полнейшей бесформенности последних в то же время. После 8 лет эти "детские" элементы подвергаются один за другим обратному развитию, а кривые понемногу приобретают свои характеристические формы, присущие взрослому человеку. Инволюция этих избыточных волн, сопряженная с превращением кривых из бесформенных зубчаток в типические конфигурации, является результатом того избирательного оформляющего торможения со стороны стриатума, по поводу которого уже было выше цитировано мнение Foerster. Возможно, что часть этих "лишних" зубцов отражает собой "парирование" сбивающих реактивных сил фазическими импульсами, исходящими из пирамидной системы (см. гл. VIII). Упрощение форм динамических кривых и ликвидация "детских" избыточных элементов в них обусловливаются в биодинамическом отношении переходом к более совершенным способам борьбы с реактивными силами, возникающими при движении в многозвенных кинематических цепях конечностей. Такой переход к более экономичному и тонкому способу координирования, по-видимому, связан, с одной стороны, со вступлением в работу более высокоорганизованного анатомического субстрата и более дифференцированного функционального уровня, а с другой — с текущим во встречном направлении процессом автоматизации, т.е. переключения упомянутых кортикальных реактивных компонент в нижележащей, но более адекватный для них уровень построения.

Биодинамическая дивергенция бега от ходьбы начинается не ранее третьего года жизни — с организации *полетного интервала* бега, вначале совершенно отсутствующего. Попутно с более или менее тонкими иннервационными изменениями идет и результативное биодинамическое усовершенствование детского бега (рис. 83). Длина шага неуклонно растет: на пятом году она удваивается, на восьмом — утраивается, к 10 годам, в спринте, становится почти в 4,5 раза больше по сравнению с данными ребенка, едва начинающего бегать. Разумеется, длина ног не растет в такой же прогрессии, так что в самом главном увеличение длины шага обусловливается возрастанием угловых амплитуд в суставах и удлинением полетного интервала. Средняя скорость бега также неуклонно растет: уже в возрасте 3—4 лет она удваивается, к 5 годам увеличивается втрое, а к 10 годам становится в пять больше, достигая 5,75 м/с (около 20,7 км/ч) и становясь вчетверо больше, чем скорость ходьбы того же ребенка.

Если весь второй год жизни ребенка был годом вступления в строй уровня пространственного поля и осваивания локомоций, то следующая возрастная ступень, приходящаяся на окончание второго и на весь третий год жизни, представляет собой период анатомического завершения созревания высших психомоторных систем. В этом периоде у ребенка появляются и начинают резко возрастать как по количеству, так и по степени успешности выполнения действия *из предметного уровня.* К этой группе двигательных актов относятся, как было показано в гл. VI, по преимуществу действия двух категорий: собственно предметные, т.е. манипуляции с вещами и орудиями, и символические, включающие элементарные координации речи и письма. В отношении действий первой категории, собственно предметных, ребенок осваивает в этот период целый ряд актов самообслуживания, успешно играет с игрушками и ломает их, возводит сооружения

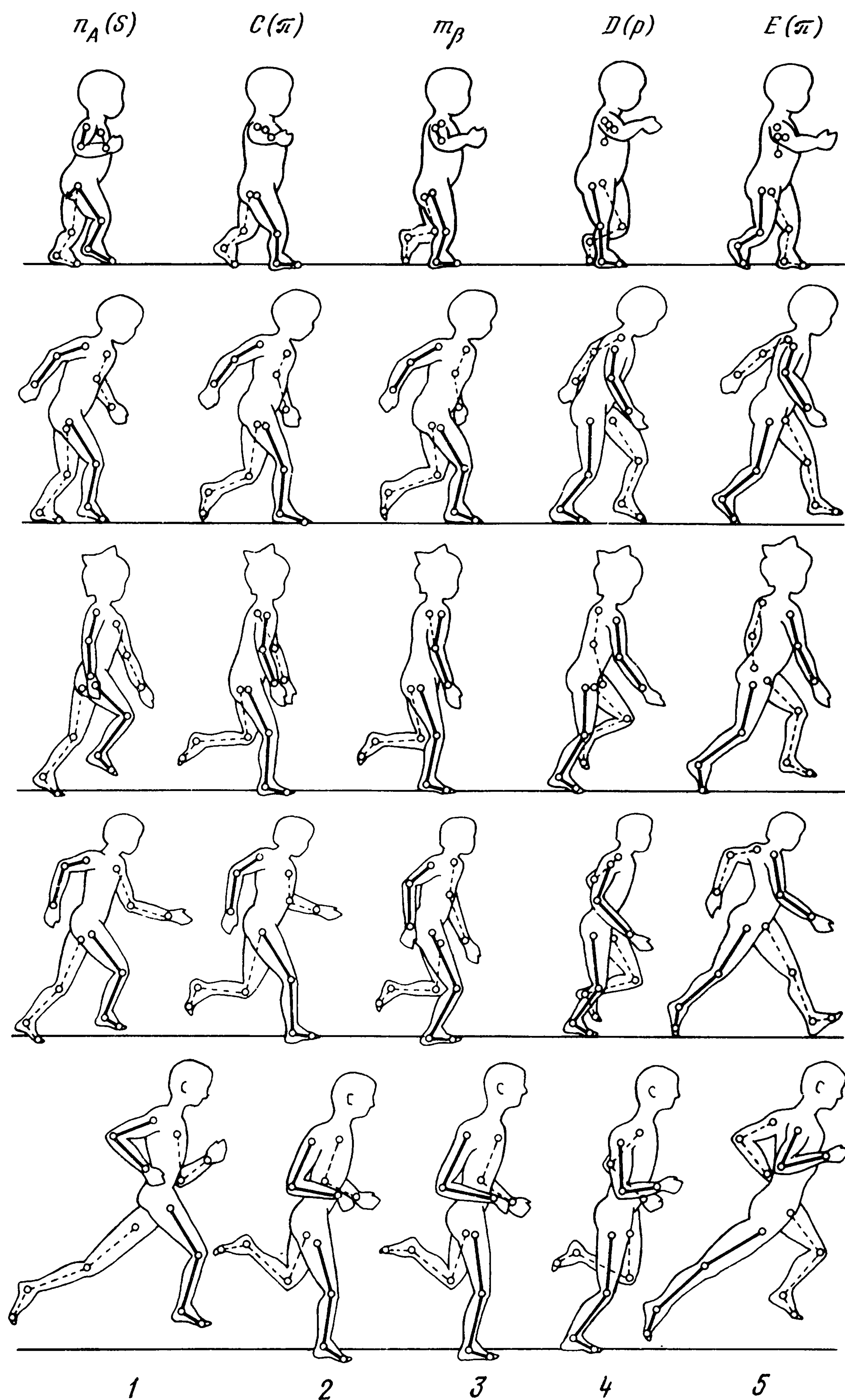


Рис. 83. Положения тела нескольких детей разных возрастов в характеристических фазах бега
1 — главный толчок махового бедра вниз; *2* — передний толчок; *3* — наибольшее сгибание голени задней ноги; *4* — задний толчок; *5* — последняя фаза отталкивания стопы опорной ноги. Возраст детей (сверху вниз): 1 год 4,5 мес., 3 года 3 мес., 4 года 9 мес., 6 лет 1 мес. и 10 лет (Т.С. Попова)

из кирпичиков или песка, начинает что-то изображать карандашом. Овладение речью начинается обычно с начала второго года жизни. Вопросы речи и ее развития составляют, однако, обширную и самостоятельную проблему и полностью выходят из рамок настоящей книги.

Что касается общего склада моторики подрастающего ребенка, то параллельно резкой перемене в общем телесном складе наступают не менее выразительные сдвиги и в характере и инвентаре его движений. В противоположность увальням-двухлеткам дети от 3 до 7—8 лет обычно подвижны, поворотливы, грациозны. Это период функционального расцвета нижнего (стриального) подуровня пространственного поля, уже твердо возглавившего синергетические таламо-паллидарные фоны. Функциональная слабость пирамидного подуровня *C2* и минимальный удельный вес отправлений из уровня действий *D* приводят к двум явлениям, очень характерным для этого возрастного периода.

Во-первых, неутомимый во всевозможных локомоциях ребенок сейчас же устает и проявляет поползновение к бегству, если его загрузить какой бы то ни было деятельностью, требующей точности движений или преодолевания сопротивлений. Самая неутомимость его, проявляющихся в играх, по справедливому замечанию М.О. Гуревича, в значительной степени иллюзорна, так как там ему не приходится выполнять продуктивных рабочих движений. Вся его двигательная деятельность свободна, непринужденна, начинается и оканчивается в меру его психофизиологических потребностей; видимо, этой непринужденностью в немалой мере обусловливается и изящество его движений. Неусидчивость ребенка при попытках засадить его за какую-либо работу, связанную с загрузкой уровней *C2* и *D*, объясняется еще и тем, что он вначале обладает слишком незначительным количеством навыков и умений по этим уровням, чтобы такая загрузка могла надолго заинтересовать и содержательно занять его.

Во-вторых, что очень типично для рассматриваемого возрастного периода, грациозность и локомоторная подвижность соединяются у детей в то же время с очень низким уровнем общетелесной (не говоря уже о ручной) ловкости. Эта "грациозная неуклюжесть", столь характерная для них, объясняется тем, что ловкость, представляющая собой своего рода двигательную маневренность, находчивость, способность к быстрому комбинированию ad hoc адекватных двигательных формул, нуждается в высоком функциональном развитии *кортикальных* уровней, *C2* и *D* и насыщении их известным психомоторным опытом. Именно незрелость этих координационных систем ведет к тому, что дети 3—7-летнего возраста сравнительно так плохо перепрыгивают через препятствия, мечут в цель, лазят по деревьям или веревочным лестницам и т.п. Все это приходит позже, с наступлением отрочества.

О ходе развития детской моторики в последующем периоде имеется значительно меньше наблюдений, заслуживающих доверия и отвечающих плану этой книги, поэтому мы ограничимся здесь лишь немногими дополнениями. Анализ развития акта письма будет помещен в гл. VIII.

Во-первых, необходимо напомнить указанное в гл. VI обстоятельство, что функциональное отличие правой руки от левой присуще отнюдь не всем уровням построения, а начинается существенным образом только с чисто кортикального уровня *D*. Это резкое качественное отличие уровня действий от нижележащих координационных уровней сильно маскируется вторичными осложнениями, возни-

кающими по ходу онтогенетического развития, и потому по большей части оставалось недоучтенным; на анализе этого явления необходимо остановиться.

Маленький ребенок еще совершенно не проявляет различий между правой и левой стороной тела ни в силе мышц, ни в координационной ловкости. Эти различия делаются у него ощутимыми только впоследствии, по мере возрастания в его моторном обиходе количества двигательных актов из уровня действий. Это отнюдь не значит, что ребенок не имеет никаких конституционных предрасположений к право- или леворукости. Напротив, все данные (например, многочисленные генеалогические наблюдения) говорят в пользу значительной роли прирожденных задатков в выделении доминантного полушария мозга, но только обнаруживается эта доминантность одного из полушарий лишь тогда, когда возникает соответствующий проявитель для этой, дотоле латентной, неравноценности. Разногласия различных авторов (Baldwin, Dix, Stier, Braun и др.) по вопросу о возрасте обнаружения этой асимметрии у подрастающего ребенка, доходящие до того, что одними этот возраст оценивается в 2 года, другими — в 14 лет, несомненно, объясняются тем, какие именно движения ребенка наблюдал тот или другой автор. Чем больше внимания обращал исследователь на предметные действия, тем раньше должен был он констатировать наступление право-левой неравноценности.

Тесное, неразрывное функциональное сплетение всех видов двигательных отправлений на каждой возрастной ступени неминуемо ведет к видоизменяющему воздействию уровней, преобладающих на данной ступени развития, на уровни более второстепенного значения. Этим путем возникают два прямо противоположных факта, не лишенных интереса.

В раннем детстве, когда у ребенка перевешивают экстрапирамидные движения и кортикальные движения не выше все еще вполне симметричного уровня пространственного поля, не только они все лишены отпечатка какой бы то ни было асимметрии, но и немногочисленные и второстепенные пока для ребенка акты из вышележащих уровней принимают на себя тот же оттенок взаимозаменяемости сторон. Отсюда — постоянное смешивание ребенком правой и левой стороны. Он подвергается беспрерывным замечаниям воспитателей за то, что берет не в ту руку вилку, ложку, иглу, ножницы; он поражает изобилием зеркально изображаемых им букв и даже целых слов и то и дело случающимся прочитыванием слов справа налево. Ни антропометрических, ни динамометрических различий обеих рук в этот период, как правило, не имеется[1].

Во второй половине отрочества и в юности все возрастающее преобладание предметных действий в общей пропорции совершаемых движений приводит к обратному эффекту. Уже вторичным порядком начинается преимущественное развитие правой руки (у природных левшей — левой) не только функционально-координационно, но и прямо анатомически. Теперь наличие в ней большей ловкости, силы, выносливости неминуемо отражается и на степени успешности движений любого уровня: на дальности броска, силе удара, силе сжатия динамометра

[1] По некоторым авторам, среди детей школьного возраста встречается больше левшей, чем среди взрослых (где их считается 4—5% явных, до 20% скрытых). Чем школьники моложе, тем этот процент выше. Это неверно; среди них больше не левшей, а левообразных двигательных актов из-за охарактеризованного в тексте безразличия. Скорее уже можно бы говорить о детской амбидекстрии.

6. Зак. 4414

и т.п. Впрочем, выносливость к статической нагрузке (преимущественно уровень *A*) в очень большом проценте остается на всю жизнь более значительной в левых конечностях правшей по сравнению с правыми, и обратно — у левшей (Фарфель).

Общее развитие моторики во второй половине отрочества, между 7 и 10 годами, течет в направлении постепенного овладевания теми координационными возможностями, которые создались у ребенка в результате окончательного анатомического созревания двигательной сферы (как сказано, примерно к трехлетнему возрасту). К началу второго десятилетия у подрастающего ребенка мало-помалу вступают в строй высшие кортикальные уровни со всем тем, что было уже отнесено к их возможностям в предшествующих главах: с одной стороны, прогрессивно налаживаются точные и силовые движения; с другой — все более возрастает количество освоенных двигательных навыков и предметных манипуляций правой рукой. По упоминавшимся выше причинам все больше начинает проявляться *ловкость* в метании, лазании, легкоатлетических и спортивных движениях. Некоторую неспособность к длительной установке на продуктивную работу М.О. Гуревич приписывает все еще не достаточному развитию фронтальных механизмов.

Этому неоспоримому психомоторному прогрессу суждено претерпеть по ходу развития подростка целую сложную полосу перестройки, связанную с общей перестройкой организма в период полового созревания и приводящую нередко к временному координационному регрессу.

Диспропорции подростка в пубертатном периоде чаще всего сводятся: а) к резкому выпячиванию уровней пирамидно-коркового аппарата в ущерб экстрапирамидным фоновым уровням; отсюда наблюдаемая в этом возрасте угловатость, неловкость глобальных движений, неустойчивость тонуса; б) к нарушению нормальных, уже начавших устанавливаться взаимоотношений между уровнем действий *D* и фоновыми уровнями, доставляющими подростку необходимые для большинства действий технические сноровки и "высшие автоматизмы". Отсюда проистекает деавтоматизация, недостаток точности движений, большая утомляемость. С течением времени эти диспропорции выравниваются, и у юноши устанавливается индивидуальный психомоторный профиль взрослого человека. Эти сдвиги в моторике в переходном возрасте, совпадающие с разнообразными сдвигами в психике и вместе с ними обусловленные реконструкцией и всего эндокринного аппарата, и нервной системы, бывают в разных случаях очень разнообразными и подводят вплотную к весьма важному вопросу, которого здесь можно коснуться лишь мимоходом. Так как эти колебания и преходящие регрессы не имеют под собой не только каких-либо органических нарушений, но и действительных утрат уже приобретенных навыков, то, очевидно, они зависят от чисто функциональных изменений в уже достигнутых пропорциях между координационными уровнями. Различными эти отклонения бывают отчасти вследствие не поддающихся учету индивидуальных различий между субъектами и путями их развития, но в значительной мере они определяются и тем, каковы были *конституциональные* пропорции между уровнями до наступления пубертатных перестроек и какими они станут по окончании этих перестроек. Этот вопрос о сдвигах пропорций представляет собой лишь одну сторону гораздо более широкой и общей проблемы, которую можно обозначить как проблму *индивидуальных моторных профилей,* т.е. индивидуальных, консти-

туционально обусловленных соотношений между степенями совершенства и способности к развитию отдельных уровней построения. Эта проблема, в свою очередь, близко соприкасается с часто затрагивавшимся вопросом о *моторной одаренности*, гораздо более сложным и вряд ли доступным сейчас методологически правильному разрешению, поскольку он включает трудный для объективного установления пункт количественной оценки. Проблема моторных профилей допускает более надежную качественную трактовку и при этом имеет не меньшее практическое значение.

У разных вполне нормальных субъектов встречаются очень различные относительные степени развития отдельных координационных уровней. Есть лица, отличающиеся большим изяществом и гармонией телодвижений (уровень *B*), руки которых в то же время необычайно беспомощны и не умеют управляться даже с наиболее примитивным орудием. Другие обладают исключительной точностью мелких движений, требующихся, например, при работе часовщика или гравера, но мешковаты, неловки, спотыкаются на ровном полу и роняют стулья, мимо которых проходят; у этих лиц резко преобладают уровни *C2* и *D* над уровнем *B*.

Существование подобных индивидуальных качественных различий психомоторики так же давно и хорошо известно, как и то, что в прямой корреляции с этой наличной пропорцией развития отдельных сторон моторики стоит и способность к усвоению новых моторных навыков и умений того или другого качества. Один субъект очень легко и хорошо выучивается мелкой и точной работе, но очень туго осваивает, например, игру на фортепиано; другому легко даются гимнастические и акробатические упражнения на ловкость и трудно — легкоатлетические упражнения или спортивные игры; третьему, даже в рамках одной и той же двигательной области, легко дается, например, соразмерение динамики и качество туше в игре на фортепиано и очень тяжело — беглость, четвертому же — наоборот. Однако делавшиеся до настоящего времени эмпирические попытки, лишенные принципиальной основы, разбивались всегда о непомерное разнообразие и пестроту материала. Кажется, что излагаемая здесь теория координационных уровней способна внести в разбираемый вопрос некоторую ясность. Во-первых, несомненно, что та или другая степень развития и тренируемости свойственна не отдельным двигательным актам во всем их многообразии, а целым контингентам движений, составляющим инвентарь того или другого целостного уровня построения. Уровней не так уже много, и дать оценку каждому из них применительно к данному субъекту значительно легче, чем изучать и оценивать каждый отдельный двигательный акт. Во-вторых, более чем вероятно, что даже в пределах краткого списка уровней построения возможны и характерны не все оттенки и градации их соотношений, а некоторое, совсем небольшое, количество *типовых пропорций*. Это было бы в полной аналогии с теми конституционными профилями телосложения и характера, которые получили признание в литературе и, несомненно, имеют эвристическую ценность. В-третьих, между изыскиваемыми нами моторными профилями, с одной стороны, и конституциональными — с другой, можно с самого начала ожидать встретить немалые корреляции. Все это, конечно, ставит на очередь вопрос о выработке методов объективной оценки как наличной степени развития тех или иных уровней, так и их податливости к дальнейшему развитию и тренировке.

Глава восьмая

РАЗВИТИЕ ДВИГАТЕЛЬНЫХ НАВЫКОВ

Теория двигательного навыка прошла через ряд последовательных этапов, оказывавших решающее влияние и на практику воспитания всевозможных движений. Согласно раннему взгляду, двигательная упражняемость локализовалась в периферическом, скелетно-двигательном аппарате (что справедливо только по отношению к силовому развитию мускулатуры). Вследствие такого взгляда педагоги труда, физической культуры и искусства обращали внимание преимущественно на тренировку периферического мышечно-связочного аппарата. Отсюда вытекала целая система мероприятий, направленных к "разработке" этого аппарата: растягивание связок и сухожилий, массаж мышц, всяческие виды гимнастики массажного характера и назначения и т.д.

Убеждение в периферической локализации двигательных навыков вызывало стремление начинать их выработку как можно раньше, с самого детства, когда процесс окостенения скелета еще далек от завершения, а все ткани растяжимы и податливы. Это приводило к очень многим вредностям и перегибам.

К XX в. стала уясняться главенствующая роль, которую играет в выработке и запечатлении навыков центральная нервная система. Однако физиология начала века была еще очень далека от представления о решающем значении афферентации в координационном процессе. С оформлением взгляда на двигательный навык как на нечто вырабатывающееся, запечатлевающееся и локализующееся в центральной нервной системе центр внимания был перенесен на *эффекторные системы мозга* и в первую очередь — на изученный ранее кортикальный эффекторный (пирамидный) аппарат. Представление, что при любом двигательном тренинге, будь то гимнастическое упражнение или разучивание фортепианного этюда, упражняются не руки, а мозг, вначале казалось парадоксальным и лишь с трудом проникало в сознание педагогов. Большую поддержку новому взгляду оказала теория условных рефлексов, основные положения которой были как раз в то время (первое десятилетие XX в.) разработаны и опубликованы. Гипотезы, положенные в основу ее теоретических концепций, сами по себе не были новы: они были провозглашены еще психоневрологами-материалистами конца XIX в. во главе с Meynert, но солидная экспериментальная база, подведенная и под них И.П. Павловым, обеспечила им особенную доходчивость и убедительность.

Факту индивидуального прижизненного запечатления следов в центральной нервной системе была придана хотя предположительная, но конкретная и четкая трактовка *проторения связующих путей в мозгу* в результате многочисленных настойчивых повторений условного сочетания. Впечатляющая сила новых фактов и приданных им теоретических истолкований была так велика, что на теорию условных рефлексов стали возлагаться огромные упования, вплоть до надежды воздвигнуть на ее основе все здание материалистической психологии. Особенно же естественно было применить эту теорию к объяснению гораздо более узкого и частного вопроса о двигательном навыке и его генезе. Само собой напрашивалось сопоставление закрепления условных связей у животного с

запечатлением двигательных умений у человека, того и другого при посредстве многократных повторений и длительного упражнения.

Экстраполяторы теории условных рефлексов прошли мимо ряда глубоких, принципиальных различий между обоими упомянутыми процессами. Их сделало очевидными лишь время, вообще успешно охлаждающее многие увлечения.

Первое капитальное различие в том, что вся постановка эксперимента по выработке условной связи у животного обусловливает его полную пассивность к предъявляемым ему раздражениям. Это хорошо подтверждается хотя бы частым возникновением у подопытных животных сонного торможения, являющегося истинным бичом опытов по условным рефлексам[1]. В противоположность этому каждый из этапов выработки двигательного навыка представляет собой не пассивное "отдавание" воздействиям, идущим извне, хотя бы и с собственной проприоцептивной периферии, а активную *психомоторную деятельность,* образующую и внешнее оформление, и самую сущность двигательного упражнения. Эта интенсивная деятельность сооружает двигательный навык в самом деле как своего рода постройку, что оправдывает и заглавный термин всей настоящей книги: "Построение движений".

Во-вторых, гипотеза проторения проводящих путей рисует этот процесс как нечто монотонное, дающее в своем развитии картину лишь часто количественного, гомогенного нарастания. Между тем, как будет показано дальше, формирование двигательного навыка представляет собой целую цепь последовательно сменяющих друг друга фаз разного смысла и качественно различных механизмов. Выработка двигательного навыка есть *смысловое цепное действие,* в котором так же нельзя ни выпускать отдельных смысловых звеньев, ни перемешивать их порядка, как и в любой предметной цепи из уровня *D*. Сам двигательный навык — очень сложная структура: в нем всегда имеются ведущий и фоновые уровни, ведущие и вспомогательные звенья, фоны в собственном смысле слова, автоматизмы и перешифровки разных рангов и т.д. В не меньшей мере насыщен чисто качественной структурной сложностью и процесс его формирования. Истолкование образования двигательного навыка как проторения условных связей принесло ощутительный практический вред главным образом тем, что оно оправдывало монотонное, пассивное заучивание, "зазубривание", в котором основное ударение делалось на количестве выполненных повторений. Крайне низкий полезный эффект такого метода вскоре заставил критически отнестись к нему и подвергнуть его решительной переоценке.

Проторительная теория выработки двигательного навыка содержит еще одну неясность. Теоретики условных рефлексов приняли как нечто самой собой разумеющееся крайнюю *медленность запечатлевания* условных связей, с чем уже дальше легко и естественно было сопоставить и длительные сроки, потребные для двигательного упражнения. Вся эта длительность возлагалась на крайне низкие временные коэффициенты восприимчивости центральной нервной системы, по крайней мере именно такими проявляли они себя в условнорефлекторных опытах над собакой. Между тем эти многонедельные длительности, если отводить их мысленно на один монотонный процесс постепенного проторения одного или

---

[1] См., например, "Двадцатилетний опыт изучения высшей нервной деятельности" И.П. Павлова, изд. 1928 г., с. 107, 139, 225 и т.д.

нескольких путей в центральной нервной системе, совершенно не согласуются ни с фактами запечатлевания *небезразличных* восприятий с одного раза (как у собаки, так тем более у человека), ни со всеми без изъятия физиологическими скоростными показателями нервной системы, согласно рисующими ее как молниеносно быстро работающий биоэлектрический прибор. Дело выглядит совершенно иначе, если на место подобного однородного запечатлевания в том или другом центре поставить то, что имеется в действительности: *многофазное активное строительство* в сензомоторных *уровневых системах* мозга. Это ставит весь вопрос в совершенно иную плоскость.

Как это следует из содержания настоящей книги, двигательный навык не может представлять собой *стойкой эффекторной формулы* какого-либо последования нервно-мышечных импульсов. Выше было установлено, что такой стандартной формулы и не может образоваться в центральной нервной системе, так как вся сущность двигательной координации как раз состоит в непрерывном прилаживании эффекторных импульсов к внешним условиям, все время меняющимся и требующим неусыпной слежки за ними со стороны рецепторики. Уровень синергий *B*, который мог бы обмануть нас своей наклонностью к стандартным штампам, как раз умеет выдерживать эти стойкие штампы только благодаря своей исключительной сензорной оснащенности, т.е. благодаря свойственной ему высокой технике прилаживания от раза к разу своих активных импульсов к изменчивым внешним и реактивным силам. Движения уровня синергий стандартны только благодаря тому, что его эффекторные импульсации не обладают стандартностью.

Столь же невозможно ожидать в основе двигательного навыка какого бы то ни было стандарта *сензорных коррекций*, обладающих именно в силу их приспособительности ничуть не меньшей изменчивостью, чем эффекторные импульсы. Ни эффекторные, ни рецепторные, ни какие-либо еще центры и системы мозга не могут являться пунктами для локализации в них *стойких* проторенных или запечатленных другим образом следов двигательного навыка.

Заметим, что если бы упражнение или тренировка навыка сводились к проторению или продалбливанию чего бы то ни было на основе бесчисленных повторений, то это не могло бы привести ровно ни к чему хорошему, так как именно в начале развития навыка, когда движения неправильны и неловки, затверживать-то и нечего. Это обстоятельство еще с одной стороны подчеркивает ошибочность "проторительных" концепций. Диалектика развития навыка как раз и состоит в том, что там, где есть *развитие*, там, значит, каждое следующее исполнение лучше предыдущего, т.е. *не повторяет* его; поэтому упражнение есть, в сущности, *повторение без повторения*. Разгадка этого кажущегося парадокса в том, что упражнение представляет собой *не повторение и не проторение движения, а его построение*. Правильно проводимое упражнение повторяет раз за разом *не средство, используемое для решения* данной двигательной задачи, *а процесс решения этой задачи*, от раза к разу изменяя и улучшая средства.

По наиболее строгому возможному в настоящее время определению, *двигательный навык есть координационная структура, представляющая собой освоенное умение решать тот или иной вид двигательной задачи*. Так как двигательные задачи могут обладать самым разнообразным смысловым содержанием,

то, очевидно, навык можно выработать применительно к любому виду произвольного двигательного процесса, независимо от его уровней высоты и состава.

Из предложенного определения выявляются и две фактические причины, обусловливающие длительность сроков выработки двигательного навыка. Одна из них сказывается главным образом в первом, начальном периоде работы над навыком, другая — преимущественно в ее второй половине.

Во-первых, процесс, протекающий в центральной нервной системе по ходу упражнения и выработки навыка, представляет собой полные активности искания все более и более адекватных во всех отношениях решений осваиваемой двигательной задачи. Центральная нервная система деятельно проходит через большое количество проб, ошибок, прилаживаний, приспособительных модуляций и т.п., которые, в конце концов, обеспечивают ей наиболее правильное, быстрое, рациональное и при этом находчивое осуществление искомых решений. В этих исканиях оптимальных решений, бесспорно, заключается одна из причин продолжительности работы над двигательным навыком. В особенности это относится к ее ранним фазам, до завершения автоматизации, представляющей в своем роде окончание последних корректур движения и спуск его в печатную машину.

Во-вторых, сама задача, а тем более фон общей обстановки, на котором эта задача выступает в качестве фигуры, так же мало стандартна, как и те движения, координации и коррекции, которые образуют ее адекватные решения. Осваивая новый для нее вид задач, центральная нервная система вбирает и впитывает в себя целые потоки рецепций, характерных для задач этого вида и определяющих потребные для них сензорные коррекции. По ходу этого осваивания центральная нервная система практически сталкивается с широким разнообразием вариантов задачи. Применяя выражение, вошедшее уже в обиход у психологов, можно бы сказать, что по ходу формирования навыка совершается обыгрывание всех этих вариантов. Неоспоримо, что чем полнее и надежнее освоен двигательный навык, тем шире круг вариантов и осложнений задачи, которые не приводят к дезориентации и деавтоматизации и для решения которых субъект находит у себя адекватные координационные ресурсы.

Если в начальных фазах работы над навыком речь шла о произвольном (сознательном и бессознательном) вариировании *решений* двигательной задачи, то в процессе его последующей отделки и шлифовки все больше внимания уделяется не зависящим от субъекта вариациям *самой задачи* и ее обстановки. "Обыгрывание" всего их разнообразия, конечно, требует времени.

Итак, на месте однообразного проторения перед нами сложный многофазный процесс, что уже неоднократно отмечалось теоретиками-педагогами, хотя и без детализации. Последовательно проходимые фазы развития двигательного навыка уже сейчас могут быть с достаточной уверенностью выделены на основе имеющихся наблюдений. Их реальное существование хорошо подтверждается и встречаемыми в клинике избирательными выпадениями по каждой из них в отдельности. Не требуется оговаривать, что такое вычленение качественно своеобразных фаз развития ведет к известной схематизации. Границы и переходы между ними обладают в действительности некоторой расплывчатостью: между отдельными фазами нельзя установить ни резких временных границ, ни стойкой хронологической последовательности. Нередко наблюдаются наложения краями одной фазы на другую, "внахлестку", или даже сосуществование разных фаз в одном

интервале времени. Здесь имеет место *не столько хронологическая, сколько каузальная последовательность,* но зато эта последняя соблюдается очень строго.

Весь длительный процесс построения двигательного навыка целесообразно разбить на два периода, границей между которыми является завершение фактической развертки компонент строящегося движения по фоновым уровням и начало освоения последними этих компонент и всей совместной уровневой работы по реализации данного движения.

Первый период включает: 1) установление ведущего уровня, 2) определение двигательного состава движения, 3) выявление адекватных коррекций для всех деталей и компонент движения, характера и степени точности, требующихся от этих коррекций, и номеклатуры отвечающих им фоновых уровней. Четвертая фаза этого периода есть фактическое переключение фоновых коррекций в соответственные низовые уровни, т.е. процесс *автоматизации,* как мы определяли ее выше.

Характерной чертой всех процессов, развертывающихся на протяжении *первого периода,* является установление тех наиболее ответственных сторон и свойств каждой детали двигательного акта, к которым предъявляется особенная коррекционная взыскательность. Именно этим определяется, каковы должны быть качества тех коррекций, которым под силу обеспечить требуемую в интересах всего движения точность и стабильность этой детали, т.е. отсюда и начинается упомянутая выше фоновая развертка. Параллельно выявлению этих ответственнейших сторон вычленяются, разумеется, и те, к которым тот или другой уровень относится с достаточным индифферентизмом, для того, чтобы допустить в отношении их большую или меньшую степень вариативности. Таким образом, в этом периоде построения определяются как те черты двигательного акта, по отношению к которым смысл двигательной задачи требует выдерживания на высокой мере и на определенных качественных характеристиках *точности и стандартности,* так и те, которые могут быть предоставлены на волю вариативности либо чисто случайного, либо приспособительного порядка.

Второй период построения навыка можно назвать периодом *стабилизации.* В этом периоде: 1) совершается осваивание фоновыми уровнями компонент двигательного состава, переключенных в них в порядке автоматизации, и, что представляет, может быть, наибольшие трудности, *срабатывание* отдельных фоновых уровней с ведущим и между собой; 2) завершается та сторона автоматизационного процесса, которую следует обозначить как *стандартизацию* двигательного состава и его компонент и, наконец, 3) осуществляется собственно *стабилизация* двигательного акта — укрепление устойчивости его сторон и деталей против *сбиваемости.*

Самое существенное из того, что совершается с двигательным навыком во втором периоде его построения, это расширение того диапазона внешних и внутренних условий, в границах которого реализация навыка не испытывает опасности быть сбитой. Если в начале этого периода осваиваемое движение и может иногда произвести впечатление безукоризненного выполнения, то только до тех пор, пока оно течет под стеклянным колпаком. Но тем не менее и при очень далеко продвинутой координационной упражненности: 1) разные виды и качества сбивающих воздействий сохраняют значительную разницу в степени своей эффективности по отношению к различным фоновым компонентам, 2) разные элементы

и стороны двигательного акта остаются в очень разной степени терпимыми к внесению в них вариативных изменений того или другого размаха и качества, так что даже при очень глубоко упроченном и стабилизированном навыке всегда остаются опасные для отдельных его сторон влияния и сдвиги, способные внести в них деавтоматизацию. Об этих избирательных свойствах различных сбивающих воздействий речь будет в гл. IX.

Приступая к последовательному пофазному анализу построения двигательного навыка, оговорим, что этот анализ будет касаться освоения навыка взрослым индивидом. То, что могло быть высказано по вопросу о генезе двигательных координаций в детском возрасте, было изложено в гл. VII; там, где это понадобится, и в настоящей главе будут соответствующие примечания.

Присущее каждому из уровней построения физиологическое своеобразие проявляется и в различиях их свойств в процессах формирования навыков. Собранные по этой линии материалы наблюдений будут приводиться попутно с характеристиками соответствующих фаз.

* * *

Можно сказать с уверенностью, что каждый двигательный навык представляет собой *многоуровневую структуру.* Только самые элементарные движения могут укладываться со всеми их коррекциями в рамки одного ведущего уровня, но по таким простейшим формам движений не возникает и нужды в выработке навыков посредством упражнения. Очевидно, такая многоуровневая структура, как целостный координированный двигательный навык с его ведущим и фоновыми уровнями, каждый из которых правильно выполняет свою роль и обеспечивает наилучшее корригирование движения в своей специфической области, не может возникнуть сразу. Первые попытки осуществления незнакомого движения, эмбрионы будущего навыка, строятся *как одноуровневые акты,* если только не найдут к своим услугам с первых же шагов старых, ранее выработанных и сохраненных памятью фонов. Однако, если обучающийся и обладает в какой-то мере этими готовыми подходящими фонами, то вначале он обычно не умеет вызвать их к действию и использовать в новой комбинации. Ему все равно приходится на этих первых шагах проводить все движения почти целиком под контролем и коррекциями ведущего уровня.

Ни одни из уровней построения не располагает, разумеется, абсолютно полным и всесторонним ассортиментом сензорных качеств и коррекций, какие могут потребоваться для полноценного выполнения любого движения. Вследствие этого движение ведется вначале при посредстве *суррогатных коррекций,* похожих на временные деревянные леса, с помощью которых в дальнейшем будет воздвигаться каменная постройка. Дифференциацией, достаточной для возможности построения новых двигательных комбинаций ad hoc, обладают во всей центральной нервной системе одни только кортикальные сензомоторные системы в уровневых обозначениях *C2* и выше. Кора полушарий обладает наиболее развитыми связями с сензорными полями всех родов оружия. Она одна в состоянии отозваться адекватной двигательной реакцией на новые, незнакомые раздражения. Конечно, нагрузка, ложащаяся на кору в начале освоения навыка, вынуждает ее брать на себя мало свойственные ей двигательные задачи. Если, например, осваиваемое движение есть какое-нибудь незнакомое сложное трудовое движение,

вроде косьбы, то нужные для ее *ведущих* коррекций сензорные системы с ярким преобладанием в их составе зрительной и вестибулярной слагающей имеют свои проекции в коре полушарий. Мышечно-суставная же, проприоцептивная чувствительность отражена в коре слабо, и ведущий уровень косьбы гораздо беспомощнее в корригировании положений частей тела и их реактивных взаимодействий, нежели нижележащие, субкортикальные уровни построения.

Постепенно овладевая навыком, центральная нервная система находит возможности передоверять фоновые коррекции движения соответственным фоновым уровням построения, тем, которые лучше всего приспособлены по качеству их афферентаций к осуществлению этих именно коррекций. Так, например, при выработке навыка метательного движения та общая синергия, которая включает поворот всего тела на ногах, винтообразный поворот туловища и головы и широкое размашистое движение плечевого пояса и руки, первоначально корригируется кортикальными системами, как уже сказано, слабо связанными с проприоцепторикой. Когда в результате упражнения эта синергия перенимается таламо-паллидарным уровнем, обладающим очень тесной и развитой связью с органами тактильной и проприоцептивной чувствительности, вся координация этой стороны движения становится и более точной, и более сильной, легкой, экономичной. В результате: 1) ведущий уровень разгружается от побочной работы; 2) координации названной синергии уходят из поля сознания и 3) при этом подвергаются не только количественному улучшению, но и глубоким качественным изменениям, так как переключаются на наиболее адекватные им качества сензорных коррекций.

Первоначальная по смыслу фаза выработки двигательного навыка — *определение его ведущего уровня* — фактически не отнимает времени, так как вопрос является всегда уже предрешенным. Если и не все, то, во всяком случае, решительно преобладающая часть тех умений, какие в состоянии самостоятельно вести у человека уровень пространственного поля *C*, хотя бы в основных чертах усвоена им еще во времена детства и отрочества. Среди задач, с которыми человек впервые сталкивается уже взрослым, настолько резко преобладают задачи, изопотенциальные с его уровнем действий *D*, и вдобавок в кругу заполняющих его жизнь двигательных актов в такой степени преобладают действия из этого же уровня, что последний твердо держит у взрослого монополию на ведущее положение по отношению ко всем вновь прививаемым двигательным навыкам. Как показывают наблюдения, это случается даже тогда, когда подлежащий осваиванию двигательный акт явно относится к компетенции уровня *C*, например, если это какая-нибудь незнакомая форма локомоции, вроде плавания или езды на велосипеде. Нужно заметить, что в противоположность легко и быстро совершаемым переключениям фоновых уровней *переключение ведущего уровня* уже выработанного навыка есть всегда трудно дающийся и болезненно протекающий процесс. Так как, овладев при посредничестве уровня действий *D* изучаемой локомоцией, центральная нервная система на каком-то этапе будет неминуемо вынуждена переключить ее на ведущее управление адекватного ей подуровня *C1*, то указанное обстоятельство обрекает ее на очень много лишних трудностей. Несомненно, этим и объясняется, насколько быстрее и легче происходит овладевание подобными локомоциями у ребенка или отрока, которые сразу ставят их на управление подуровня *C1*.

Несоответствия обратного типа имеют место у детей или у высших живот-

ных, не имеющих в своем распоряжении работоспособного уровня *D*, при попытках освоения навыка действия из этого уровня. Сюда относятся, например, неудачи, постигающие обезьян в их подражательных действиях, если дело идет о задачах, недоступных им в смысловом отношении, но привлекающих их своей внешней манипуляционной стороной.

Вторая фаза осваивания навыка, с которой обычно прямо и начинается работа над последним, была выше обозначена как *определение двигательного состава* этого навыка. Напомним, что под двигательным составом движений уровня пространственного поля *C* подразумевается все то, что относится к форме и внешнему характеру движения, по другой терминологии — к его *конструкции*. Это совокупность того, что было объединено под символом "Mot" на схеме рефлекторного кольца в гл. II. В спортивно-гимнастических навыках двигательный состав более или менее точно совпадает с тем, что называют *стилем* этих движений (например, разновидности плавания — кроль, брасс и беттерфляй, разновидности прыжка в высоту — хорейн и восточноамериканский и т.п.). В сложных цепных актах из уровня *D* к двигательному составу относятся как структура отдельных движений-звеньев, так и самые перечни этих звеньев.

Фаза определения двигательного состава навыка в большинстве случаев также не принадлежит к числу трудоемких. Очень многие действия (например, велосипедную езду или управление автомобилем) каждый наблюдал сотни раз с самого детства. Для других навыков к услугам обучающегося часто имеется объяснительный показ со стороны педагога. Тем не менее по ходу этой фазы может уже встретиться ряд затруднений, требующих активного преодоления. Так бывает, прежде всего, когда сложный (например ремесленный) навык осваивается самоучкой — напомним о ситуации Робинзона. Далее, во многих как спортивно-гимнастических, так и профессиональных навыках встречаются очень важные детали двигательного состава, в то же время настолько быстролетные, что их трудно разглядеть и на множестве показов. Многие детали движения, даже хорошо рассмотренные со стороны, нелегко верно воспроизвести на себе самом. Однако, кроме этой чисто подражательной стороны, фаза определения двигательного состава обязательно обладает и активно творческим содержанием — все равно, осознано и произвольно оно или нет. Речь идет о протекающей в этой фазе *индивидуальной пригонке особенностей двигательного состава* к личным свойствам упражняющегося: телосложению, физиологическим характеристикам моторной периферии, координационному профилю и т.д. Излишне подчеркивать, что в этой фазе открывается широкий простор для сознательного рационализаторского и изобретательского творчества, блестяще продемонстрированного на трудовом фронте советскими стахановцами.

* * *

Каждому хорошо знакома иллюзия, возникающая при виде искусных профессиональных движений опытного мастера и дающая впечатление, что эти действия было бы совсем легко воспроизвести самому с первого же раза. Производимое перед нашими глазами и представляемое нами себе с полной ясностью во всех деталях двигательного состава действие кажется нам настолько простым и очевидным, что воспринимается как нечто безусловно доступное для повторения.

Дети, не обладающие еще "задерживающими центрами", развитыми у взрослых, особенно легко попадаются на удочку этой иллюзии, с самонадеянностью подражательно принимаясь за рискованные манипуляции, вроде бритья, кройки или разжигания примуса. Каждый, кто пробовал проверить на деле впечатление, создаваемое этой иллюзией, несомненно, помнит своеобразное и яркое ощущение обескураживающего недоумения, возникающее при этом за счет неожиданно большой непослушности и неловкости своей руки[1].

Причина этого явления ясна. Каждым на протяжении всей жизни накоплены для правой руки огромные запасы навыков и умений; и действовать этой руке постоянно приходится, не выходя из круга этих привычных умений. Каждое из них, правда, обусловливает некоторую полосу генерализации, возможности обобщенного переноса на сходные двигательные процессы, но это отнюдь не означает всеобщего координационного развития. Неизменно послушная в рамках своего обычного, постоянного круга действий, рука начинает обманчиво казаться нам послушной безотносительно и вообще, чего нет на самом деле.

Суть в том, что сколь угодно ясный образ двигательного состава движения не дает еще никакого понятия о *коррекциях и перешифровках,* необходимых для его осуществления. Разница между второй фазой (определением двигательного состава) и третьей, которая неминуемым образом должна следовать за ней, как раз и заключается в том, что во второй фазе учащийся устанавливал, как будут *выглядеть* (снаружи) те движения, из которых слагается изучаемый им навык: в третьей фазе он доходит до того, как должны *ощущаться* (изнутри) и сами эти движения, и управляющие ими сензорные коррекции. Наступающую фазу следует обозначить, таким образом, как *фазу выявления потребных сензорных коррекций.* Именно в этой фазе центральная нервная система интенсивно набирает потоки рецепций (проприоцептивных в широком или функциональном смысле термина, см. гл. II), характерных для всего многообразия внешних и внутренних вариаций движения, потоки ощущений, которых не может быть видно ни на ком постороннем. Вполне очевидно, какие преимущества может дать в этой фазе сознательное вникание, сопровождаемое еще критическим анализом каждого выполнения со стороны педагога, по сравнению хотя бы с огромными количествами механических, бездумных повторений.

Фаза выявления сензорных коррекций есть, бесспорно, самая трудоемкая изо всех первоначальных, так сказать, планировочных фаз построения навыка. С первых же шагов попутно с накапливанием всех этих проприоцептивных рецепций начинается и их внутренняя сортировка. Для центральной нервной системы начинает уясняться, на какого рода и качества коррекции имеется спрос в тех или других компонентах двигательного акта. Определив уже, что именно нуждается в корригировании, центральная нервная система доискивается до того, какие сензорные системы и какие фоновые уровни обладают в своем арсенале наиболее подходящими средствами для этих коррекций. Таким образом, фаза

[1] Очень легко воспроизвести это ощущение "растерянности" руки таким простым опытом: поставить перед собой зеркало и, заслонив правую руку от глаз листком картона или бумаги так, чтобы видеть ее только в зеркале, нарисовать квадрат и крест диагоналей внутри него ("конверт") или еще что-нибудь в этом роде.

выявления потребных коррекций нечувствительно переходит *в фазу росписи или разверстки сензорных коррекций по адекватным уровням построения.*

В начале осваивания навыка могут возникнуть два существенно разных случая. Как уже сказано, сооружаемое движение обязательно строится вначале как одноуровневое, имея в распоряжении только коррекционные ресурсы своего ведущего уровня. Когда основные, самые существенные из потребных коррекций уже определились, то ведущий уровень либо в состоянии (худо ли, хорошо ли) приблизительно обеспечить эти нужнейшие коррекции, либо он вовсе лишен необходимых качеств для некоторых из них.

В первом случае эти временные "костыли" кортикальных коррекций дают возможность движению кое-как, с трудом, выполняться на суррогатных подпорках, а тем временем в фоновых уровнях успевают подобраться или сформироваться вновь настоящие адекватные фоновые коррекции, о которых речь будет ниже. Так происходит, например, в приводившемся несколько выше случае метательной синергии. В других случаях в ведущем уровне может *вовсе не оказаться* хотя и вспомогательных, но нужнейших коррекций, отсутствие которых равносильно срыву всего движения. Так бывает, судя по всему, тогда, когда требуемые важнейшие коррекции представляют собой большие мышечные синергии из таламо-паллидарного уровня *B*. Именно так, например, обстоит дело с локомоторными навыками плавания, езды на велосипеде, ходьбы по канату и т.п. В этих случаях ведущий уровень всех локомоций *C* вполне обеспечен всеми смысловыми коррекциями, необходимыми для пилотажа движения, но ему недостает владения теми необходимыми синергиями, без которых это движение все равно не осуществимо, хотя они и не относятся ни к пилотажу, ни к конечному смыслу двигательного акта. В случаях этого рода движение вначале всегда просто *не выходит*: учащийся падает вместе с велосипедом или упорно погружается в воду

Широко известно, что по отношению к движениям указанного типа (это отнюдь не только локомоции) имеется один всеобщий и не знающий изъятий закон. Причины его оставались совершенно загадочными, и только теория сензорных коррекций оказалась способной дать ему простое и исчерпывающее объяснение. Закон этот состоит, во-первых, в том, что все умения этого рода в какой-то момент обучения постигаются *сразу*, скачком, как по какому-то наитию, а во-вторых, в том, что раз уловленное умение этого рода не утрачивается пожизненно, как бы велик ни был перерыв в его применении и как бы далеко ни зашла количественная растренированность в нем.Освоенное умение держаться на воде, на велосипеде или на канате также невозможно забыть, как и какое-нибудь испытанное хотя бы раз в жизни, но яркое ощущение или впечатление.

Этот внезапный постигающий скачок означает то, что в этот момент вступает в строй выработавшаяся в уровне *B* решающая *фоновая синергетическая коррекция*. Движение не получалось до этого переломного момента именно потому, что для движений этого рода в распоряжении ведущего уровня (ни *C*, ни *D*) не имеется *никаких* подходящих коррекций нужного качества, хотя бы и суррогатных. Основной факт, что суть и "секрет" навыков плавания, велосипедной езды и т.п. заключается *не в каких-нибудь особенных телодвижениях, а в особого рода ощущениях и коррекциях,* объясняет тем, почему эти секреты не удается растолковать никаким показом (а любое *движение* всегда можно показать) и почему они совершенно и пожизненно незабываемы.

Вопрос о привлечении *фоновых уровней как специалистов* по тем или другим видам и качествам коррекций так или иначе встает во весь рост вслед за фазой выявления коррекционных потребностей[1]. Это подводит нас к ответственнейшей из фаз выработки двигательного навыка — *фазе автоматизаций.*

Автоматизация двигательного акта есть, по уже дававшемуся определению, переключение ряда компонент осваиваемого движения в нижележащие уровни построения, т.е. *переключение ряда координационных коррекций двигательного акта на афферентации нижележащих уровней, являющиеся наиболее адекватными для этих именно коррекций.* Такое определение автоматизации, в особенности его подчеркнутая часть, кажется нам наиболее конкретным изо всех дававшихся до настоящего времени определений этого процесса и притом вполне вяжущимся со всеми реально наблюдаемыми случаями автоматизаций. Автоматизация движения может состоять как в использовании готовых фонов (собственно фонов или же подходящих автоматизмов, выработанных ранее для другого навыка), так и в выработке специальных фоновых автоматизмов. Оба термина будут расшифрованы ниже.

Хорошо известный факт, что автоматизированные компоненты движений уходят из поля сознания, приводит к важному обобщению, согласно которому *в каждом данном двигательном отправлении осознается только состав его ведущего уровня,* какова бы ни была абсолютная высота последнего. Если, в частности, ведущим уровнем является наивысшая уровневая группа *E*, например, если данное действие есть письмо на машинке под диктовку, то бессознательными становятся не только все фоновые симультанные компоненты из *D*, *C* и *B* (сопровождающие печатание значащих букв текста), но и сукцессивные элементы смысловой цепи действий, являющиеся в моменты их выполнения вполне самостоятельными движениями-автоматизмами на уровне *D*, например движения перевода строки. Если ведущий уровень относится вообще к самым высоким, то бессознательно текущие сукцессивные фоновые цепи могут в некоторых случаях оказываться очень сложными по составу и длительными по времени. Они часто называются в подобных проявлениях *машинальными действиями* и в патологических случаях могут иной раз затягиваться даже на несколько суток (так называемые истерические фуги).

Граница между *произвольными* и *непроизвольными* движениями отнюдь не совпадает с границей между движениями сознательными и бессознательными. Если говорить только о ведущих уровнях движений (поскольку технические фоны бессознательны, как общее правило), то эти ведущие уровни всегда осознаются, но при этом могут обусловливать и произвольные, и непроизвольные движения. Судя по всему, движения, связанные с кортикальными системами (уровни *C2* и выше), в норме всегда произвольны; в уровне *C1* есть уже некото-

[1] Мы относим к *ведущим* коррекциям, смысловое содержание которых определяет и требуемый ведущий уровень построения, те коррекции, которые обусловливают смысловой успех или неуспех решения двигательной задачи в ее целом. Однако не все коррекции, осуществляемые ведущим уровнем, обязаны являться и ведущими коррекциями. Если только в ведущем уровне имеются нужные для фоновой отделки движения сензорные качества, то он же может, наряду с нижележещими собратьями, оказаться в той или иной мере загруженным и фоновой работой.

рый процент непроизвольных движений, в уровне *B* их чрезвычайно много, а в уровне *A*, наконец, непроизволен уже почти весь его контингент. Полная потеря произвольных движений при пирамидных параличах еще не дает, конечно, права на огульное отождествление в норме пирамидного аппарата с произвольным, а экстрапирамидного — с непроизвольным моториумом, так как в этом патологическом случае имеются очень сложные сдвиги по сравнению с нормой, связанные и с изменениями в "пусковых механизмах" движений, и с переменами во взаимоотношениях больного с окружающей ситуацией, и т.д., что в целом крайне осложняет весь вопрос.

Технические фоны движений встречались нам по ходу этого изложения в двух видах, которые можно обозначить как *собственно фоны и автоматизмы.* Собственно фонами мы называем такие компоненты движения, которые при других ситуациях могут встречаться *как самостоятельные движения на соответственных низовых уровнях* в роли ведущих, т.е. движения, имеющиеся в контингенте данного низового уровня и могущие найти в афферентации этого уровня мотивы к образованию и экфории. Компоненты движения, создаваемые ведущим уровнем построения, наслаиваются, или, по образному выражению Graham Brown, "нахлобучиваются", на эти фоны в собственном смысле, разумеется, управляя ими по-своему, но не создавая в фоновом уровне никаких существенно новых двигательных комбинаций. Примерами фонов этой категории могут служить применение *бега* в качестве *разбега* при прыжках в длину или высоту, участие *ходьбы* в актах сева, косьбы, подметания и т.п. или использование теннисистом на корте всевозможных видов стояния и локомоций в стриальном подуровне *C1* как фонов для основной ведущей координации в пирамидном подуровне *C2* — движений ракетки[1].

Природа *автоматизмов* сложнее. Автоматизмы — это те координации, реализуемые на низовых уровнях, которые не содержатся сами по себе в двигательных контингентах этих уровней, *не имеют в них мотивов к возникновению и экфории,* а получают эти мотивы от вышележащих уровней. Везде, где удается проследить генез автоматизмов, они оказываются приобретенными прижизненно, т.е. прошедшими в какой-то момент через стадию автоматизации. В результате такого прижизненного процесса в контингентах движений различных уровней построения формируются специальные фоновые компоненты, возникающие под координационным воздействием более высоких уровней и только в них встречающие в дальнейшем мотивы для экфории. Коротко говоря, *автоматизм есть фоновая координация в уровне N, создаваемая в нем и экфорируемая вышележащим уровнем P.* В качестве *N* и *P* в этой алгебраизированной формулировке могут фигурировать очень разнообразные конкретные индексы уровней. Даем примеры[2].

---

[1] Мы уже указывали выше (см. гл. III), что подобные самостоятельные фоны самостоятельны только по генезу, в то время как их фактическое оформление существенно видоизменяется под воздействием возглавляющего их ведущего уровня.

[2] Фоны из уровня *A* не упоминаются в таблице, поскольку, угаствуя в каждом из перечисленных в ней движений, они не дают четких автоматизмов в обусловленном выше смысле этого термина.

Ведущий уровень *P*	Уровень фонового автоматизма *N*	Движение в ведущем уровне	Фоновый автоматизм
C1	*B*	Ходьба	Синергии ходьбы
C2	*C1* и *B*	Метание гранаты	Разбег и размах
D	*C* и *B*	Работа косца	Ходьба и синергии косьбы
D	*C*	Работа рулевого (на автомобиле, лодке и т.п.)	Пространственный навык рулевого управления
E	*D, C, B*	Смысловая речь	Речедвигательные координации

Автоматизмы иногда подразделяют на низшие, обслуживающие ведущий уровень пространственного поля *C*, и высшие, представляющие собой фоновые компоненты для действия уровня *D*, но это подразделение не имеет существенного значения. Конечно, автоматизмы, реализующие специальные навыки в уровне действий *D*, гораздо сложнее и многообразнее "низших"; они могут сами иногда представлять собой довольно сложные структуры, с собственными фонами в еще ниже лежащих уровнях.

Необходимо сделать здесь примечание, что совершенно ошибочно представлять автоматизмы как стойкие стереотипы. *Автоматизмы обладают приспособительной вариативностью и пластичностью* в полную меру свойств и средств того уровня, на котором они реализуются; существенная особенность их только в том, что они не нуждаются в сознании для своего протекания.

Из самого определения автоматизации вытекает, что она может осуществляться и в действительности осуществляется *в несколько раздельных приемов,* по числу компонент, которые приходится по ходу построения навыка подвергнуть автоматизационному переключению. Эти отдельные автоматизационные переключения могут намного отстоять одни от других по времени, растягиваясь на значительную часть всего процесса упражнения. При этом каждое очередное переключение совершается всегда не постепенно, а четким скачком — новшеством, которое обучающийся вдруг обнаруживает у себя при очередном возобновлении упражнения. Наконец, что точно так же следует из сказанного, автоматизация представляет собой непременно *скачок по качеству* — и в смысле внезапного улучшения в выполнении той или иной стороны движения, и в смысле *изменений в ее структуре* и в характере управляющих ею коррекций. Это последнее обстоятельство объясняется, конечно, тем, что переключение компоненты движения на другой уровень означает перевод ее на управление *другой афферентации* со всеми присущими ей качественными оттенками точности, вариативности, разграничения между заботливо корригируемыми и индифферентными сторонами и т.д. В частности, очень частый вид автоматизационного переключения из оснащенных телерецепторами кортикальных уровней в проприоцептивный уровень синергий *B* сопровождается широко известным и характерным явлением *снятия зрительного контроля.* Субъект вдруг обнаруживает, что он может выполнять ту или другую деталь движения *не глядя* и что обратное включение зрения, наоборот, начинает уже мешать ему и сбивать его.

В процессе автоматизации компонент двигательного акта усматриваются две последовательно проходимые фазы. Первая из них — фаза переключения, сопровождаемого основной характеристикой автоматизации, уводом компоненты из поля сознания, была описана сейчас. Вторая фаза автоматизационного процесса, заканчивающаяся значительно позже, уже во втором периоде выработки навыка, обозначается нами как *стандартизация* данной компоненты. Стандартизация представляет собой фиксирование и упрочение как двигательного оформления этой компоненты, так и границ и форм допускаемой для нее вариативности. В этой фазе фоновый уровень осваивает тем или другим характеристическим для него физиологическим приемом технику выдерживания требуемой *стойкости и неизменяемости* данной стороны движения на фоне изменчивых и сбивающих внешних воздействий. Мы вернемся к подробной обрисовке фазы стандартизации при характеристике второго периода работы над навыком.

Как по отношению к техническим фонам с самостоятельным генезом, так и по отношению к автоматизмам при выработке нового навыка могут встретиться различные случаи.

Требуемые для обслуживания осваиваемого движения *самостоятельные фоны* в большом числе случаев находятся центральной нервной системой готовыми, сохраняемыми памятью в фондах соответствующих уровней. Если слегка погрешить против этимологии, то можно было бы назвать эти хранилища фонов в мозговых уровнях "фонотеками" уровней. Отдавая себе полный отчет в прегрешении перед языком, мы хотели бы все-таки сохранить это название за отсутствием другого, столь же краткого и выразительного.

Такие вполне или почти готовые фоны для двигательных навыков уровня действий находятся, например, в тех случаях, когда ими являются локомоторные или иные самостоятельные двигательные акты из уровня пространственного поля, как уже сказано, в огромном большинстве осваиваемые еще смолоду. Если, например, речь идет о превращении *бега в разбег* (что, безусловно, не одно и то же), то ведущему уровню *D* или *C2* все же остается только наложить на этот давно знакомый и привычный акт всего несколько приспособительных коррекционных мазков и превратить его самостоятельный характер в фоновый. Возможны, конечно, случаи, когда извлекаемые из низовой "фонотеки" технические фоны нуждаются в значительной пригоночной переработке, и, наконец, случаи, требующие специальной для данного навыка выработки фонов этой категории.

Подобно самостоятельным фонам, и *автоматизмы* могут найтись в том или другом количестве и степени адекватности в мнестических хранилищах мозга. Так как автоматизмы, по определению, не могут иметь самостоятельного происхождения, то речь может идти только о координациях, выработанных ранее в связи с построением какого-нибудь другого навыка. Здесь, разумеется, возможны все градации, начиная от безукоризненно подходящих автоматизмов и кончая полным отсутствием каких бы то ни было.

Это использование автоматизмов, бывших ранее выработанными для навыка А, в построении вновь формируемого навыка В есть не что иное, как пользующееся широкой известностью, но пока еще мало изученное явление *переноса упражненности по навыку.* Уже давно было обнаружено, что упражнение в каком-нибудь определенном виде двигательной деятельности дает, кроме

непосредственного улучшения самих тренировавшихся движений, еще более или менее широкий *генерализованный, или обобщенный, эффект.* Однако ни анализ общих причин этих явлений переноса и генерализации, ни искания причин той или иной степени иррадиативности разных видов упражнений, ни, наконец, исследование закономерностей, определяющих то, на каких именно двигательных актах с наибольшей яркостью обнаружится эффект переноса, до настоящего времени не имели большого успеха. Была создана теория "идентичных элементов" (Thorndike), которая пыталась объяснить явления переноса, но, к сожалению, она оказалась совершенно неспособной к правильному предсказанию фактов, т.е. несостоятельной по существу. Дело затруднялось тем, что иногда движения, очень похожие друг на друга по их двигательным составам, не обнаруживали никакого ощутимого переноса; иногда же, наоборот, движения, чрезвычайно несходные друг с другом (например, движения велосипедной езды и бега на коньках или даже движения фигурного катанья на коньках и стрельбы в цель), обнаруживали перенос в очень большой мере.

Теория сензорных коррекций оказывается значительно сильнее теории Thorndike в своей способности вскрыть ошибки последней и вернее предсказывать явления переноса и генерализации. Согласно сказанному, перенос упражненности обусловливается возможностью использования ранее выработанных для другого навыка автоматизмов, *но автоматизмы — это не движения, а коррекции*: в этом-то и заключается вся разница. Очевидно, у движений опиловки, глажения, извлечения звука контрабасовым смычком под внешне сходным двигательным составом не кроется практически никаких общих коррекций; не дают они и переноса упражненности. Наоборот, во всех случаях, где эмпирика устанавливает факт ощутимого переноса, можно легко обнаружить близкое сродство сензорных коррекций.

Так, например, навыки велосипедной езды и бега на коньках, глубоко не сходные по их двигательному составу, роднит то, что в обоих навыках мы имеем дело *с сохранением динамического равновесия над опорой, не имеющей ширины.* Даже основной принцип корригирования, применяемый в обоих этих навыках, — принцип подъезжания подвижной опорой под отклонившийся в сторону общий центр тяжести, один и тот же. В таких резко различных по двигательным составам навыках, как фигурное катанье на коньках и меткая стрельба, находятся роднящие их между собой важнейшие фоновые коррекции: точность глазомера, уверенная твердость жеста и верное улавливание момента. Очень вероятно, что применяемый многими мальчиками прием "прицеливания" камешком перед его метанием, заключающийся в держании его перед ведущим глазом при сощуренном втором, опирается на своеобразное видоизменение все того же явления переноса навыка в подуровне *C2.* Хотя сами по себе координации свойственного мальчикам размашистого метательного движения не имеют абсолютно ничего общего с подобным визированием, это последнее имело бы совершенно реальный смысл, если бы метание совершилось прямо перед собой, наподобие толкания биллиардного шара. Поэтому "визирующее" прицеливание можно трактовать как целесообразный сукцессивный элемент приема метания *P* (не применяемого в целом из-за его крайней синергетической невыгодности), переключенный в порядке использования переноса в цепь фактической метательной синергии *Q*.

Под именем переноса упражненности понимается еще и другое, родственное только что описанному явление, которому мы присвоим для различения название *переноса по исполнительному органу.* Под этим подразумевается повышение в результате упражнения в некотором навыке органа *А* (например, левой руки) упражненности по тому же навыку в другом, не упражнявшемся органе *В* (например, правой руке). Этот вид переноса будет охарактеризован ниже, при анализе фазы стабилизации навыка.

Различное отношение автоматизмов разных уровней к переносу очень ярко характеризуется фактом резкого сбивающего влияния, какое оказывает при высокоавтоматизированном навыке, например, вынужденная смена привычной рукоятки орудия, черенка инструмента, привычного рейсфедера, ножниц, ручки для письма, словом, укоренившегося приема хватки. Эти компоненты из самых низких уровней и наименьшей степени приспособлены к переносу, в то время как подобные же фоновые компоненты из уровня пространственного поля, например, движения пальцев на клавиатурах пишущих машин разных моделей и марок, в очень высокой мере к нему податливы.

Оборотной стороной переносов по навыку является, как известно, так называемая интерференция, которую мы для отличия от другого описываемого ниже явления обозначим термином "*сукцессивная интерференция*". Соответственно нашей трактовке переноса сукцессивная интерференция есть экфория фонов, или автоматизмов, не созвучных осваиваемому навыку и либо разбуженных по ошибочным ассоциациям, либо (чаще всего) вовлеченных в экфорию вместе с целым рядом адекватных автоматизмов из того же самого прежнего навыка. Характерная сукцессивная интерференция возникает, например, при управлении рулем гребной лодки, где движения прямо противоположны по направлению привычным движениям управления автомобилем или велосипедом. По наблюдениям Геллерштейна, при обучении летному делу профессиональные шоферы вначале оказываются слишком резкими в движениях, планеристы — слишком размашистыми, бывшие молотобойцы, по выражению инструктирующих, "зажимают управление" и т.д. Все это — интерференционные следы их прежних навыков.

Во всех случаях протекания фазы автоматизации — все равно, связана ли она с выработкой новых фонов и автоматизмов или использует в той или иной мере прежние, — на всем протяжении этой фазы и следующих за ней идет непрерывный процесс *снижения порогов* тех сигнальных рецепторных механизмов, которые обеспечивают необходимые сензорные коррекции. Из самого принципа рефлекторного координационного кольца вытекает, что если предпринятое движение начинает отклоняться от того пути, который соответствует намерениям особи, то это отклонение воспринимается не сразу. Раздражение, которым в данном случае служит накапливающееся отклонение, должно достигнуть надпороговой интенсивности, чтобы оно было воспринято и чтобы могло сработать коррекционное "реле", вносящее требуемые поправки в эффекторную импульсацию. Когда новичок, уже постигший основной секрет удерживания равновесия на велосипеде, пытается ехать на нем по прямой линии, это долго не удается ему, и след его движения резко извилист. Такая извилистость, конечно, объясняется тем, что учащийся начинает ощущать отклонение своего тела и велосипеда от вертикального положения только

тогда, когда это отклонение уже достигает значительной величины. Только в этот момент преодолеваются грубые пороги его вестибулярной и проприоцептивной восприимчивости и возникают ответные корригирующие импульсы к рукам, управляющим рулем. Наоборот, опытный велосипедист улавливает отклонения настолько быстро и чутко, что коррекционные импульсы возникают у него уже при малейших нарушениях равновесия, и след движения его машины может очень мало отличаться от прямой. Этот пример хорошо иллюстрирует снижение порогов по ходу развития навыка. Разумеется, это снижение не протекает по непрерывной прямой линии; на его графике случаются не только площадки-остановки, но иногда и преходящие рецидивные огрубления. Тем более легко могут появляться такие вре́менные ухудшения в результате утомления, интоксикации (походка пьяного) и т.д. У маленьких детей в период освоения ходьбы (см. гл. VII) поперечные шатания тела, аналогичные шатаниям пьяных, преодолеваются очень рано, но по продольной слагающей они еще долго наблюдаются на циклографических снимках в виде значительных колебаний продольной скорости, а особенно ускорений, затягиваясь временами до 4—5-летнего возраста.

Нет сомнения, и это подкрепляется нашим большим опытным материалом, что описанное снижение порогов коррекционных "реле" является результатом не только претерпеваемых ими количественных сдвигов, но и больших *качественных изменений,* а именно смены одних рецепторов другими, более чувствительными и быстро реагирующими. Иногда такая смена реле обозначает переключение на совершенно иную систему афферентации (например, со зрительной на проприоцептивно-тактильную), но, несомненно, встречаются и случаи переключений внутри одной и той же афферентационной системы с более грубых приборов, находящихся в ее "сортаменте", на более тонкие.

* * *

Фазой автоматизации удобно закончить то, что мы выше назвали периодом выработки двигательного навыка. По мере вступления в строй привлекаемых к делу и вновь формируемых фонов и автоматизмов начинается не менее насыщенная активностью полоса сложной синтетической работы над ними. Для *второго периода построения навыка* характерно то, что на его протяжении имеется ряд неоспоримо качественно различных фаз, но они не обнаруживают между собой каких-либо ощутимых временны́х границ. Эти различные процессы обычно текут параллельно, все время взаимно влияя друг на друга.

Из этих процессов *второго периода* мы выделяем *три основных,* не исключая при этом возможности наличия в нем и других созидательных процессов, пока еще не уловленных. Эти три основных процесса, или фазы, таковы: 1) фаза *срабатывания* координационных элементов навыка между собой; 2) фаза *стандартизации* и 3) фаза *стабилизации.*

Если предшествующие фазы развития навыка, составляющие содержание его первого периода, можно сравнить с распределением ролей между актерами, их переписыванием и выучиванием каждым из актеров той роли, которую вначале читал за него режиссер, — ведущий уровень, то фаза срабатывания соответствует полосе совместных репетиций спектакля. Это есть фаза внутреннего

увязывания движений, обеспечения дружной и согласованной работы коррекций как между различными фоновыми уровнями, так и между всем их ансаблем и ведущим уровнем навыка. Необходимо принять в расчет, что всем уровням приходится не только пользоваться сообща единым конечным общим путем каждого мотона, но и крайне ограниченным количеством эффекторных проводящих путей в спинном мозгу. Импульсация всех трех этажей экстрапирамидной системы идет в конечном счете через центробежные тракты группы красного ядра; на эту же линию попадает и значительная часть импульсов премоторной системы, отправляемых из уровня *D*. Пирамидная проекционная система также сообща обслуживает уровни *C2, D* и высшую кортикальную группу.

Однако несомненно, что по отношению к каждому более или менее сложному движению главные трудности для совместного срабатывания уровней и основное "узкое место" образуют отнюдь не нервные пути или центры. Гораздо ощутительнее сказывается то, что всем этим потокам импульсаций и кольцевым коррекционным процессам приходится действовать в конце концов на одну и ту же *исполнительную систему*: те же мышцы, те же инертные массы звеньев и те же степени свободы подвижности межзвенных сочленений. Именно эта необходимость нескольким всадникам пользоваться одним общим конем создает не всегда легко и не сразу преодолеваемые трудности. Их правильнее всего обозначить, в отличие от упоминавшихся перед этим, как *симультанные интерференции*. Характерным примером подобной интерференции может послужить противоречие между прочной, цепкой хваткой велосипедного руля, создаваемой в начале осваивания навыка рубро-спинальным уровнем *A*, и коррекциями чуткого и гибкого реагирования нажимами на руль в ответ на вестибулярные сигналы, управляемого стриальным подуровнем *C1*. Симультанные интерференции возможны, конечно, и между разными исполнительными органами, например, интерференция, возникающая вначале между вырабатывающимися автоматизмами разбега и отталкивания ногой и автоматизмом меткого втыкания шеста в упоровый ящик при разучивании прыжка с шестом. Иногда симультанные интерференции преодолеваются настолько безболезненно, что могут пройти и незамеченными. Если же ими создаются более серьезные затруднения, то характерным и точным симптомом их являются известные всем тренерам и педагогам *плато,* — временные остановки или даже регрессы и разлаживания движения, уже начавшего было удаваться в автоматизированной форме. Эти осложнения всегда преодолимы, но требуют осторожной и вдумчивой тактики. Вне всякого сомнения, временное переключение на другие формы упражнения или даже полная приостановка на тот или другой срок работы над навыком рациональнее, чем попытки преодолевания этих интерференций "напролом".

Как показывают наблюдения, нервная система, попавшая в тиски не примиряющихся между собой требований двух разнородных коррекций, если требовать от нее решений данной двигательной задачи во что бы то ни стало, вынуждается этим на *компромиссы качества.* Так бывает, например, когда в противоречие между собой становятся коррекции *меткости* и требования *беглости* при игре на музыкальном инструменте. Если не дать координационным системам возможности искать, пользуясь плато, адекватных выходов из положения путем или целесообразной пригонки друг к другу противоречащих автоматизмов

или путем обходной выработки более взаимно терпимых новых, то возникает риск толкнуть их на путь наименьшего сопротивления, отчего пострадает и меткость, и плавная, ровно звучащая беглость. Существенный вред этих компромиссов качества в том, что переучивание с одной формы на другую, близко сходную с ней, всегда дается трудно, и обычно тем труднее, чем больше сходства между обеими: это напоминает нарастание трудности условных дифференцировок с уменьшением контрастности между подлежащими различению раздражителями. Такие компромиссы очень трудно изживаются.

Параллельно и совместно с процессами срабатывания компонент навыка развиваются те процессы, которые мы объединяем под именем *процессов стандартизации.* Этому понятию нужно дать точное определение.

Двигательный акт протекает в сложно переменчивом силовом поле, создаваемом как внешними, так и реактивными силами. При наличии у органов движения большого избытка степеней свободы эти не подвластные организму силы оказывают на движение всякого рода сбивающие воздействия, борьба с которыми осуществляется при посредстве сензорных коррекций. Борьба эта протекает в двух направлениях. Каждой детали и стороне движения соответствует определенная степень *допускаемой вариативности*[1], на которую уровни построения идут или в силу своей индифферентности к ней, или же пользуясь ею в целях приспособительности. Борьба со сбивающими воздействиями направляется, во-первых, на то, чтобы не давать движению выходить из рамок допускаемой вариативности, а во-вторых, на то, чтобы всякого рода сбивающие факторы, в том числе и вариации, не оказывали на движение деструктивного действия, не сбивали и не деавтоматизировали его. Первая линия борьбы стремится сохранить движению устойчивые, стандартные формы — это и есть линия стандартизации. Вторая линия стремится придать двигательному процессу сопротивляемость деавтоматизирующим воздействиям; это есть линия борьбы за стабильность, линия *стабилизации,* о которой речь будет ниже.

Мы уже знаем, что стандартность движений не означает стандартности иннервационных формул, или штампов. Везде, где имеет место стандартность той или иной стороны движения, она отнюдь не возникает сама собой: центральная нервная система борется за ее достижение, вырабатывая для этого особые коррекции и автоматизмы. Отсюда уже ясно, что стандартность не может являться самоцелью; она завоевывается там, где это существенно необходимо для обеспечения точности, экономичности или стабильности движения. При этом стандартность движений — скорее исключение, чем правило, она производит впечатление старой, в известных отношениях отживающей формы. Как мы уже видели, для работы высших, наиболее дифференцированных координационных систем мозга характерной является, наоборот, приспособительная вариативность движения. Но стандартизация как удерживание движения в границах целесообразной допускаемой вариативности свойственна всем мозговым системам и уровням, только с различными определяющими характеристиками.

Совершенно своеобразно проявляются процессы стандартизации по отношению к движениям со сложными синергетическими автоматизированными фонами из

[1] Термином *"допускаемая вариативность"* мы будем в последующем обозначать область вариаций, еще не оказывающих на двигательный акт сбивающего действия.

таламо-паллидарного уровня *B*: локомоциям, баллистическим движениям и т.д. В навыках этой группы стандартизация неразрывно сливается с процессами стабилизации в одном общем стремлении к достижению наибольшей слаженности, экономичности и устойчивости движений. В этом направлении нами собран большой экспериментальный материал, дающий более или менее подробный очерк хода выработки навыков названных типов. Здесь наблюдаются, начиная от самых первых шагов осваивания навыка, *три* четко разделяющиеся, качественно различные между собой стадии.

По определению, дававшемуся выше, *координация движений есть преодоление избыточных степеней свободы движущегося органа,* иными словами, *превращение его в управляемую систему.* Это преодоление может происходить различными путями, что обнаруживается и в рассматриваемом случае. Сопоставление материалов о развитии биодинамических структур ходьбы и бега в детстве с циклограмметрическими данными о беге мировых рекордсменов (работы Т. Поповой и автора) показало, как по ходу развития двигательного навыка принципиально изменяется отношение организма к многочисленным степеням свободы его двигательного аппарата. Вполне естественным порядком избыток этих степеней свободы и связанная с ним чрезвычайная трудность управления двигательной периферией ведут к тому, что новичок, впервые осваивающий движение сложной, многозвенной кинематической цепи, например всего тела, инстинктивно стремится *уменьшить число* тех степеней свободы, с которыми ему приходится иметь дело. С этой целью он *фиксирует свои сочленения,* напрягая одновременно все их мышечное оснащение. Этот выход из положения наиболее прост: учащийся устраняет избыточные, мешающие ему степени свободы путем полной фиксации всех степеней, кроме той, которая непосредственно обеспечивает данный отрезок движения. Такое напряжение всех антагонистических мышечных пар цепи, часто сопровождаемое вдобавок широкой иррадиацией (гримасы, высовывание языка и т.д. у упражняющихся детей), действительно, страхует его от развития реактивных сил. Но легко понять, что такой способ координирования крайне не экономичен, дает большой перерасход дорого стоящих статических тетанусов и в связи с этим утомителен. Предпринимаемая учащимся фиксация приводит внешне к той *скованности* или связанности, которые так характерны для движений новичка в синергетических двигательных процессах, в частности, во многих спортивных и гимнастических упражнениях.

По мере постепенного овладевания навыком и обострения чувствительности коррекционных реле эта стадия сменяется другой. Как было показано в гл. II, каждое звено в сложной кинематической цепи действует в своем движении на окружающие звенья, связанные с ним прямо или косвенно, вызывая в них различного рода усилия отдачи. Каждая активная мышечная сила, приложенная к какой-нибудь точке цепи, вызывает целый ряд сложных реактивных откликов во всех других элементах цепи. Вот эти-то многочисленные *реактивные силы,* непосредственно зависящие от избытка степеней свободы, и стремится погасить новичок путем фиксации всех своих сочленений. По мере развития навыка он постепенно и очень осторожно *освобождает* одну за другой степени свободы, научаясь бороться с реактивными силами уже не посредством непрерывной тетанической фиксации, так сказать, заблаговременной и огульной, а путем уменья своевременно парировать эти силы *короткими фазическими импульсами,*

посылаемыми в нужный момент в нужную мышцу. На этой стадии, следовательно, достигается уже значительная экономия по сравнению с первой. В развитии ходьбы и бега эту стадию ребенок проходит на 5—7-м году. Кривые, характеризующие протекание динамических усилий в центрах тяжести ноги и ее звеньев, резко изменяют в связи с этим свой вид. В раннем возрасте, соответствующем первой, фиксационной, стадии, на протяжении полного цикла шага одной ноги в этих кривых имелись только две силовых волны: одна — прямого (вперед), другая — попятного (назад) направления, как и подобает качающейся системе без реактивной динамики. Во второй стадии постепенное высвобождение подвижности приводит к огромному перепроизводству коротких и интенсивных фазических волн на ножных силовых кривых как по сравнению с кривыми более раннего возраста, так и сравнительно с кривыми взрослого, где силовые волны представлены в умеренном количестве, имеют резко различные размеры и размещены с очень большой закономерностью. Во второй стадии, очевидно, буквально каждая реактивная сила, возникающая в движущемся органе, вызывает со стороны центральной нервной системы гасящие или уравновешивающие импульсы, что придает силовым кривым этой стадии чрезвычайно зазубренный и бесформенный вид.

По ходу дальнейшей выработки двигательного навыка рано или поздно наступает *третья,* еще более совершенная, стадия обращения с реактивными силами: организм выучивается прямо *использовать* их. В таких универсальных навыках, как, например, ходьба, эта последняя стадия достигается всеми людьми без изъятия, а в специальных навыках нередко наблюдается у искусных мастеров спорта или физического труда. Она соответствует полному включению в фоновую работу уровня синергий *В.*

Движение можно построить так, чтобы преобладающая часть сил, возникающих на периферии, не только не шла в ущерб, но в своей основной части содействовала ему. Если центральной нервной системе удается найти пути к такому использованию реактивных сил, то это создает очень большую экономию мышечной активности. Кроме того, движение, которому предоставляется течь так, как этого требует сама биомеханическая природа движущегося органа, оказывается особенно плавным, легким и хорошо оформленным.

Для многих движений, в особенности для движений со значительными амплитудами и смещениями больших инертных масс, как локомоции (бег) или баллистические движения (работа молотом, метание и т.п.), организм находит такие формы, при которых малейшее отклонение от правильной траектории тотчас же вызывает возникновение реактивных сил, стремящихся вернуть орган обратно на покинутую траекторию. Две взаимно противоположные структуры движений: со сбивающими реактивностям и с реактивностями, поддерживающими движение и содействующими его устойчивости, дают очень близкую аналогию с явлениями, известными в элементарной механике под названиями неустойчивого и устойчивого равновесия. Либо реактивные силы, вытекающие из предпринятой формы движения, будут сбивать его, и движение сможет совершиться только при условии активного заглушения этих реактивностей (ребенок-бегун, неопытный конькобежец), либо же реактивные силы будут сами содействовать движению, охранять его от отклонений, восстанавливать равновесие в самые начальные моменты нарушения. Во втором

случае траекторию движения, обладающего указанными свойствами, можно сравнить с желобком, по которому движущийся орган катится, как шарик по канавке, и закраины которого сейчас же возвращают его в канавку, как только он начнет отклоняться от нее на тот или иной из наклонных бортов желобка. Роль, которую в направляющем желобке играют наклонные борта, в движении с устойчивой структурой берут на себя реактивные (иногда и внешние) силы. Такое движение обладает, следовательно, *динамической устойчивостью.* Если подобная динамически устойчивая форма найдена и освоена, то, очевидно, на протяжении больших отрезков движения не только не будет нужды в гашении реактивных сил тоническим или фазическим путем, но, наоборот, создастся очень сильная разгрузка в части эффекторных импульсов и активных мышечных усилий, поскольку последние в немалой мере окажутся замененными этими реактивными силами.

Большей частью человек, достигший в каком-нибудь навыке этой стадии развития, субъективно воспринимает только одну сторону дела, не умея и в ней отдать себе ясный отчет. Не ощущая тех реактивных сил, которые помогают ему двигаться и которыми он научился пользоваться, субъект воспринимает только свои активные мышечные усилия, которых он теперь умеет тратить значительно меньше. Кроме того, уменье и решимость использовать преобладающую часть реактивных сил ведут к тому, что мастер полностью *высвобождает все степени свободы* своих кинематических цепей, т.е. проприоцептивно ощущает снятие фиксации во всех своих сочленениях. Это уменье столь полно использовать реактивные силы и связанная с этим максимальная экономичность в расходовании активной мышечной работы субъективно воспринимаются мастерами как некоторое *расслабление.* Конечно, это "расслабление", представляющее собой не что иное, как высшую форму координации в уровне синергий, является расслаблением инактивной, а не активной мускулатуры, и, следовательно, не имеет ничего общего с астенией.

Нам довелось наблюдать динамически устойчивые формы обрисованного типа на целом ряде движений или их фоновых компонент. Неоспоримые динамически устойчивые структуры встречаются уже среди двигательных актов самого низшего уровня *А* — это выполняемые им *быстрые вибрации,* текущие по типу вынужденных упругих колебаний (рис. 84). Очень ясно проявляются эти формы, далее, в движениях руки с молотком при рубке зубилом (см. рис. 6 и 63). При анализе этого процесса мы имели возможность проследить с чрезвычайной ясностью на большом материале, как вариативность той или другой траектории (как у одного и того же работника, так и у разных лиц между собой) убывает в точном параллелизме с увеличением скорости или массы звена, движущегося по этой траектории. Самыми неизменными, почти не вариирующими у всех испытуемых, оказались ударные части траекторий головки молотка и центра тяжести всей руки с молотком; наоборот, самыми вариативными и нестойкими показали себя траектории медленно движущихся и не несущих каких-либо масс центров локтевого и плечевого сочленений. В подобных быстрых баллистических движениях мера свободы подвижности движущегося органа оказывается различной при анализе ее с кинематической и с динамической точки зрения. *Кинематически* конечности в характеризуемых движениях мастеров максимально освобождены, все степени

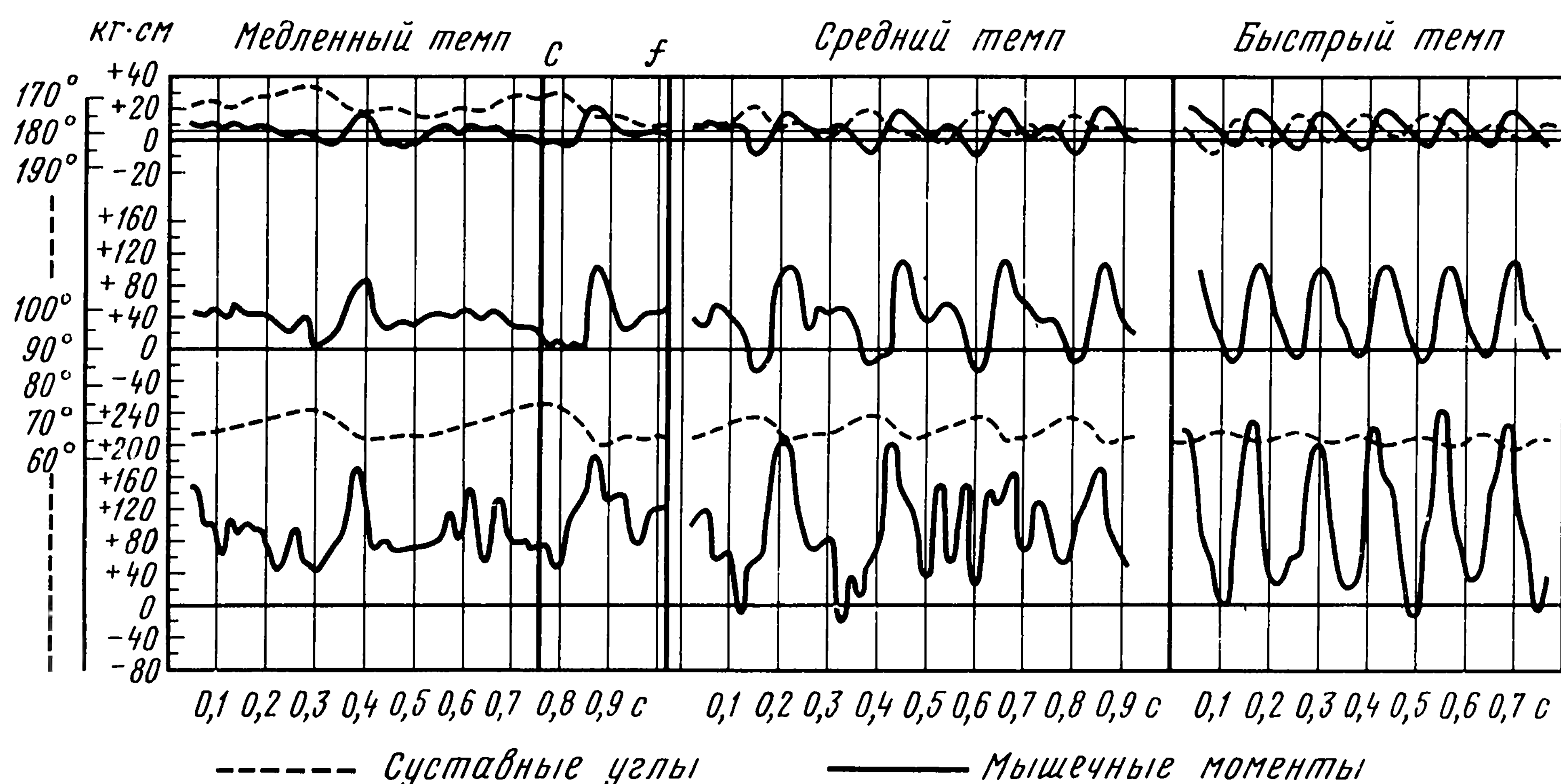


Рис. 84. Кривые изменений суставных углов и мышечных силовых моментов

Сверху вниз: запястная, локтевая и плечевая мускулатура в трех эпизодах непрерывно убыстряющегося октавного vibrato у пианиста с мировым именем. На рисунке ясно видно, что при медленном и среднем темпах правильные ритмичные движения (изменения углов) совершаются при очень иррегулярном течении локтевой, а в особенности плечевой кривой силовых мышечных моментов, обусловленном непрерывной борьбой с аритмическими реактивными силами многозвенного маятника руки. Только в наивысшем темпе (около 7 уд/с) эти иррегулярности мышечных кривых сглаживаются: в небольшой степени — от недостаточной для этого высокого темпа съемочной частоты, главным же образом — вследствие перехода структуры движения в динамически устойчивую форму вынужденных упругих колебаний (работа автора и Т.С. Поповой, Муз.-пед. лаборатория, 1927 г.)

свободы в них развязаны: *динамически* же их движения имеют вынужденный характер, прикрепляющий их к совершенно определенным траекториям, т.е. сохраняющий для них всего одну степень свободы. Таким образом, *в динамически устойчивых движениях все степени свободы, кроме одной, связываются реактивными силами,* присущими данной структуре движения. Ясно, — поскольку реактивные силы не подвластны центральной нервной системе и не имеют в своей основе эффекторных импульсов, — что коррекция движения посредством использования реактивных сил совершается *без активных коррекционных импульсов,* т.е. что движения с такой структурой экономичны не только для мышц и для нервной *эффекторики,* но и для центрально-нервных *координационных механизмов, опирающихся на рецепторику.* Попав в динамически устойчивую колею, движение катится по ней, как поезд по рельсам, и с его уровня — водителя снимается обязанность управлять рулем.

Яркий образец широкого использования реактивных сил дает биодинамика бега мирового рекордсмена J. Ladoméque, движения которого мы имели возможность заснять и изучить в 1934 г. Впрочем, и у менее замечательных бегунов встречаются очень выразительные проявления целесообразного использования реактивной динамики. Вот один характерный пример.

Когда маховая (переносная) нога уже вынесена вперед, а коленный угол ее близок к прямому, наступает окончательный отрыв опорной ноги от земли (рис. 87). Этот отрыв совершается отнюдь не за счет мускулатуры самой опорной ноги, а совсем иным образом. На всем протяжении опорного интервала опорная нога развивала усилия, направленные кверху, и сообщала общему

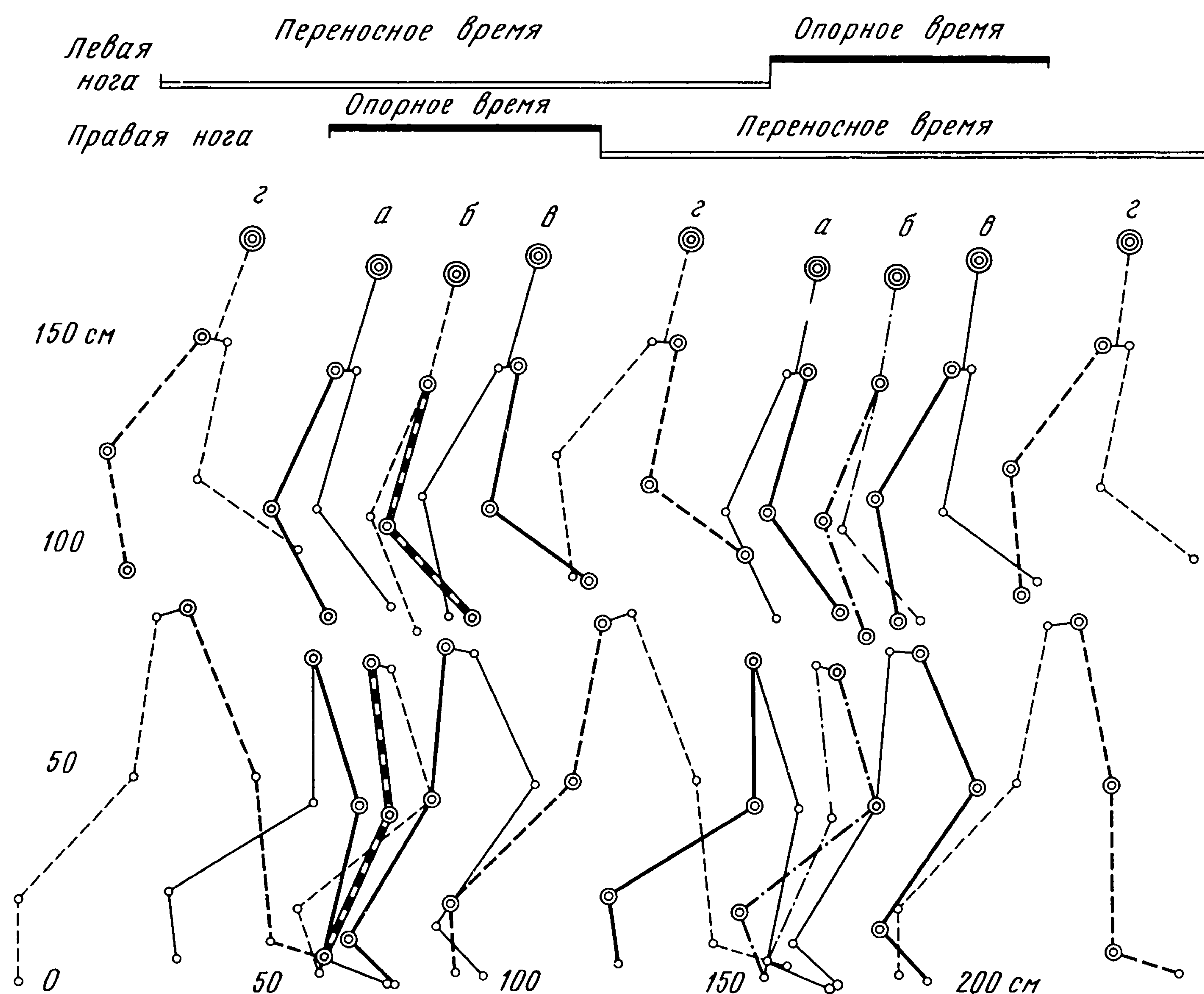


Рис. 85. Главные динамические фазы бега неумелого исполнителя (человека сидячей профессии, средних лет)
а—в — период опорных толчков, *г* — полетная фаза. Ср. с бегом рекордсмена — рис. 50 (работа автора, НТК НКПС, 1926 г.)

центру тяжести тела ускорения, направленные вначале вверх, а под конец опорного времени — вверх и вперед. Но в самый последний момент *в маховой ноге* возникает активный мышечный импульс, направленный *книзу*, т.е. резкое энергичное напряжение мышц — сгибателей тазобедренного сочленения. Этот импульс создает в центре тяжести маховой ноги большую силу (рис. 88), достигающую при беге со средней скоростью 40—60 кг, а при спринтерском беге иногда превышающую 100 кг. Сила, направленная *книзу*, обусловливает одновременное возникновение *реактивной силы*, направленной *кверху* и приложенной к общему центру тяжести всего тела за вычетом активной ноги, и уже эта последняя сила вздергивает кверху туловище и вторую ногу, окончившую исполнение своих опорных функций. Однако реактивная динамика, созданная сгибательным импульсом маховой ноги, еще далеко не исчерпывается этим.

Как показали наши измерения, скорость, с которой стопа взлетает кверху по окончании своей опоры, настолько велика, что свободная материальная точка, брошенная со скоростью такой же величины и направления, могла бы взлететь на высоту 4—5 м. Фактически стопа бегуна поднимается после отрыва от земли только на 0,5—0,6 м. Весь избыток ее кинетической энергии расходуется на энергичное сгибание коленного сочленения и на выброс стопы с голенью вперед по некоторой вынужденной кривой. Таким образом, в первоначальном импульсе маховой ноги заложены, как росток в семени, причины целой сложной цепной реактивной координации, которая предопределяет движение ноги, окончившей свою опору, на несколько десятков процентов продолжительности одиночного шага.

Более тонкие примеры использования реактивной динамики встречаются в очень большом количестве при анализе движений мастеров высокой квалификации. Целый ряд их нашел свое

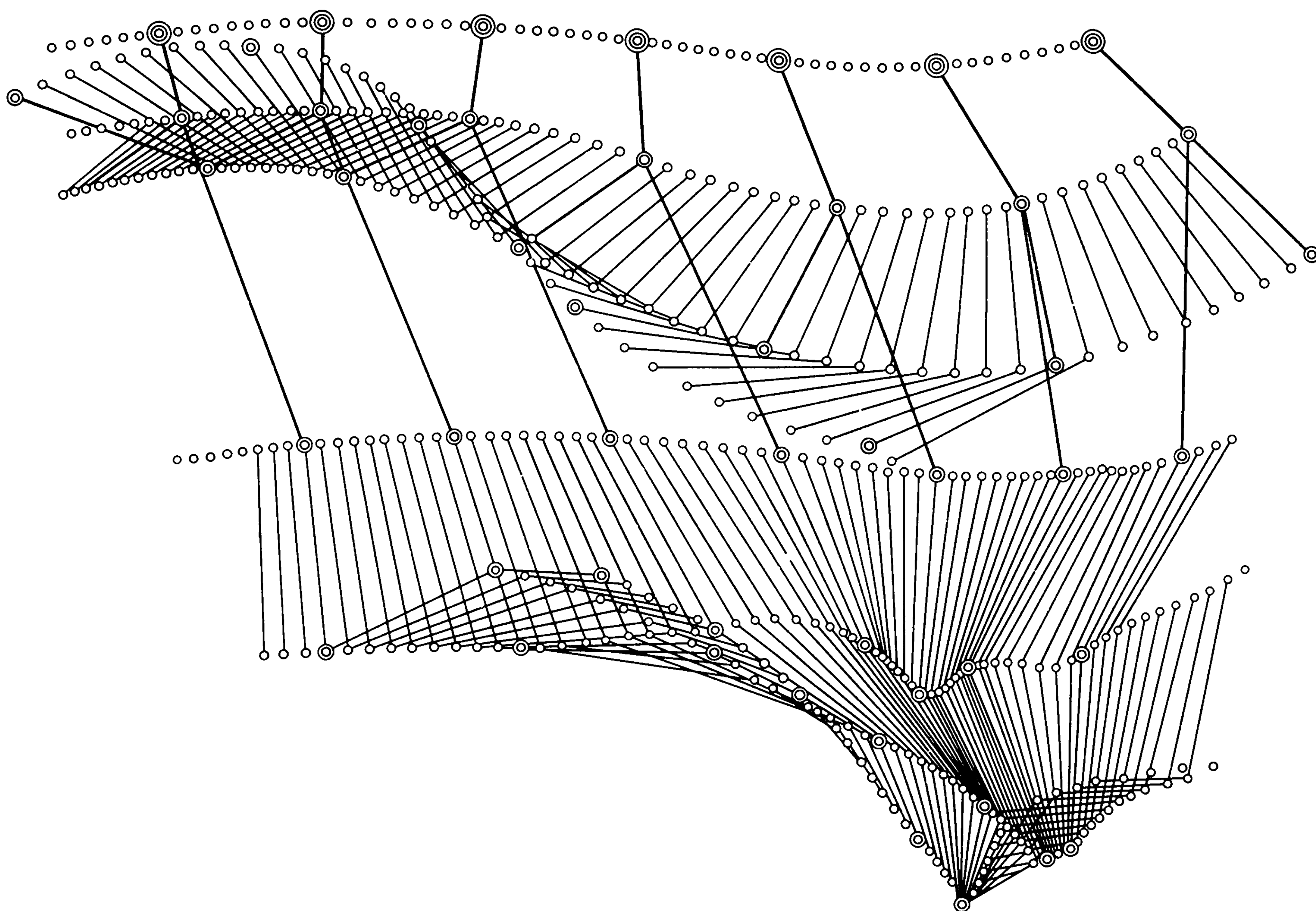


Рис. 86. Последовательные положения левой стороны тела при прыжке в длину с разбега лица, не умеющего прыгать

Ср. с движениями мастера — рис. 56. Обращает на себя внимание приземление перед началом толчка на полусогнутую в колене ногу, что чрезвычайно ослабляет отталкивание от планки, и почти горизонтальный путь тазобедренного сочленения и головы вслед за окончанием толчка, в резком отличии от движений мастера (Л. Осипов, ЦНИИФК, 1940)

освещение в наших экспериментальных работах по ходьбе, бегу и военной маршировке. Не останавливаясь на них, укажем, что характерным внешним признаком достижения описываемой стадии развития является обилие очень тонких силовых "переливов" между звеньями движущейся системы, хорошо видимых на циклограмметрических кривых. Дело в том, что реактивные силы в преобладающем числе случаев сопровождаются появлением в смежных звеньях движущейся цепи *противозначных пар волн* в кривых ускорений. Это естественно: когда одно из звеньев испытывает под действием внешней или мышечной силы ускорение в одном направлении, то смежное с ним звено, подвергаясь реактивной отдаче, обнаруживает симметричное ускорение в противоположном направлении. Это и есть противозначная пара. В то время как на ранних стадиях развития навыка (например, при беге маленьких детей) силовые волны на кривых толсты, мало расчленены и в большинстве случаев *однозначны* по всем звеньям движущейся конечности), у мастеров, подобных Ladoumégue, те же по номенклатуре волны расщепляются иногда на целые семейства тонко расчлененных волн, с большим изобилием противозначных пар, прямо указывающих на реактивные переливы. Так как и кинематическая схема ноги, и присущее ей число и распределение степеней свободы, конечно, одинаковы у мастера и у маленького ребенка, то, несомненно, и реактивные силы, возникающие в ногах обеих при приблизительно одинаковом движении их, должны быть качественно сходными. Отсутствие в кривых ребенка какого бы то ни было расчленения на детали, переполняющие кривые Ladoumégue (рис. 89 и 90), может обозначать

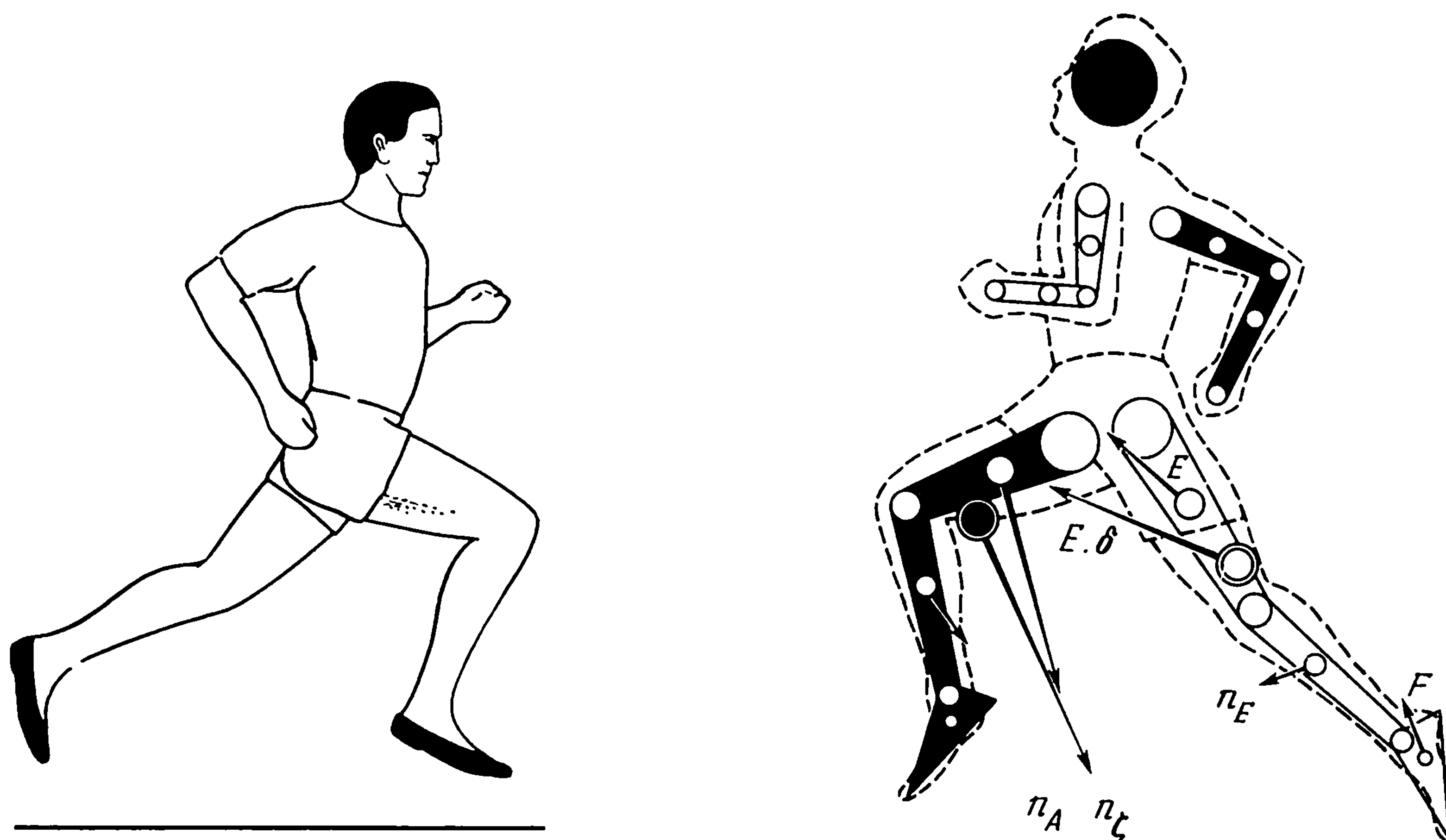


Рис. 87. Фаза бега, соответствующая реактивному отрыву опорной стопы от земли
Хорошо видно напряжение сгибателей бедра правой ноги (Ж. Ладумег, работа автора, ЦНИИФК, 1934—1939 гг.; фото автора переведено в схему. — *Примеч. ред.*)

Рис. 88. Схема усилий в центрах тяжести ножных звеньев и целых ног в фазе рис. 87
Мощное сгибательное усилие n_A–n_ξ есть источник реактивной силы, втягивающей левую ногу кверху (Ж. Лядумег, работа автора, ЦНИИФК, 1934—1939 гг.)

только то, что ребенок тем или другим способом гасит свои реактивные силы, в то время как мастер предоставляет им широкую свободу.

Очень выразительным дополнением к сказанному может послужить наблюдение, сделанное Поповой над одной из поздних стадий развития детского бега. Когда ребенок старше 7—8 лет преодолевает вторую стадию, характеризующуюся переразвитием фазических волн и уже описанную выше, и когда его динамические кривые приобретают постепенно форму, свойственную взрослым, то в них начинает проявляться и упомянутая сейчас расчлененность, и "переливы" силовых волн, и противозначные шары. Оказывается, что если из двоих детей одного возраста, запечатлевших на циклограммах бег с одной и той же скоростью, кривые одного обнаруживают большую степень расчлененности, чем у второго, то при этом *амплитуды* силовых кривых первого всегда *меньше*, нежели второго. Иными словами, при одинаковом конечном результате активные силовые затраты тем ниже, чем больше достигнутая ребенком расчлененность его динамических кривых. Трудно найти более убеждающее подтверждение экономичности динамически устойчивого типа.

В гл. IV в контексте общей характеристики движений и фонов таламо-паллидарного уровня уже были приведены обоснования *дискретности* и *стандартности* динамически устойчивых формул, свойственных этому уровню. Не повторяя их здесь, напомним лишь, что малочисленность фактически возможных решений задачи по нахождению динамически устойчивых форм целесообразных движений скелетно-двигательного аппарата обязательно ведет к их дивергенции и стандартизации. Кроме того, общечеловеческая одинаковость строения двигательных органов, входящая в число условий такой задачи, объясняет и общечеловечность динамически устойчивых стандартов не только таких древних и всеобщих актов, как ходьба или бег, но и всевозможных видов прыгания, метания, плавания, удара и т.п.

К сказанному о динамически устойчивых формах движений остается добавить еще несколько замечаний.

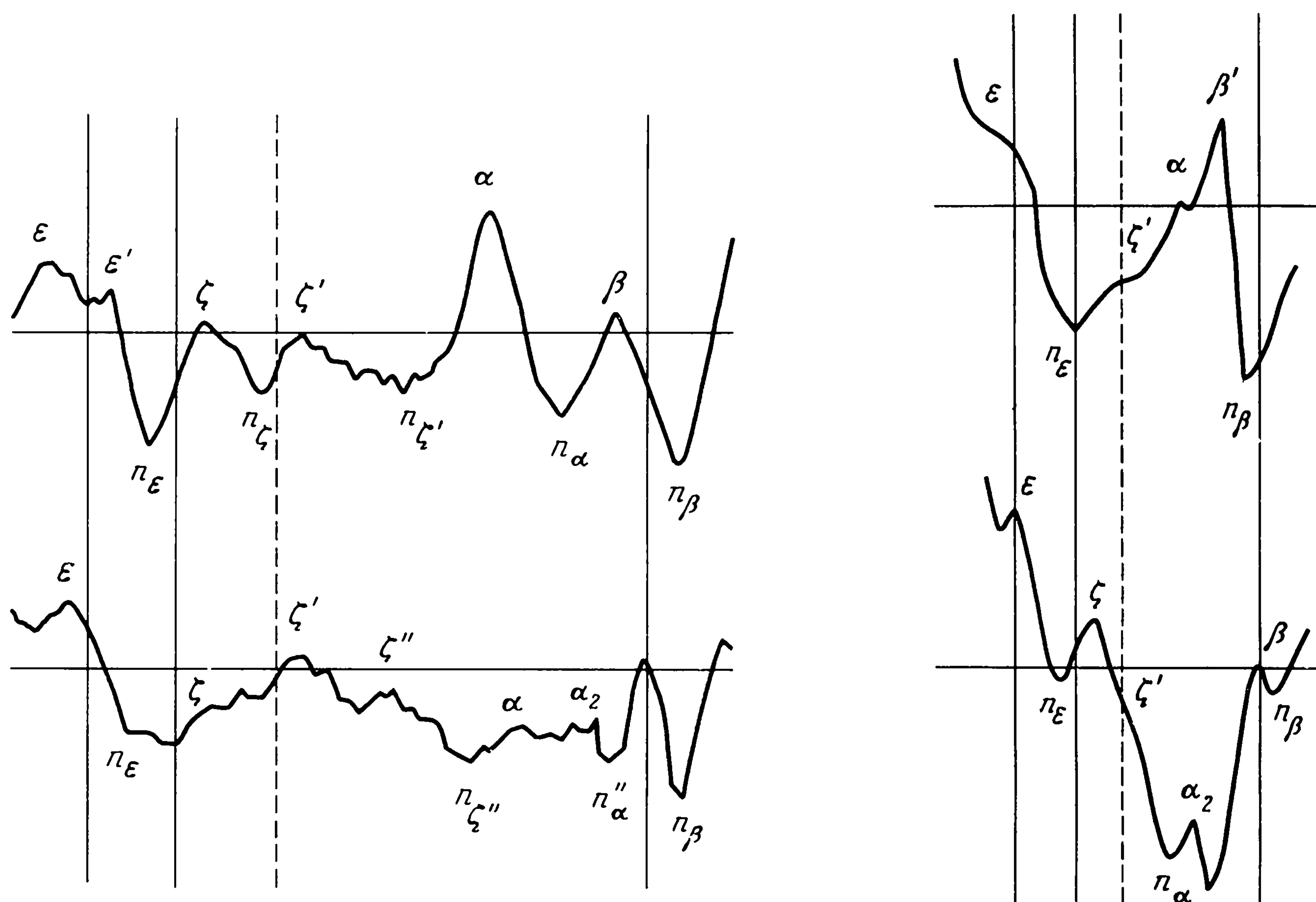


Рис. 89. Кривые продольной слагающей усилий в центрах тяжести бедра (наверху) и голени (внизу) во второй половине переносного времени при беге на интервале от ε до n_β. Испытуемый Ж. Лядумег

На рисунке хорошо видна необычайная расчлененность кривых, свидетельствующая о богатстве освобожденных реактивных сил. Ср. с рис. 90 (работа автора, ЦНИИФК, 1936—1939)

Рис. 90. Кривые продольных ускорений колена (наверху) и голеностопного сочленения (внизу) при беге ребенка 3,5 лет

Вторая половина переносного времени, интервал от ε до n_β. Крайняя примитивность очертаний, отсутствие дифференциации волн. Ср. с рис. 89 (работа Т.С. Поповой, ВИЭМ—ЦНИИФК, 1937 г.)

Во-первых, из изложенного ясно, что динамически устойчивые движения не всегда принадлежат к числу циклических. Напротив, целый ряд *однократных* двигательных актов, как различные варианты прыжков, большие метательные цепные синергии (диск, ядро, копье, молот и т.д.), размашно-ударные движения топором или кувалдой, очень подходит для построения динамически устойчивых форм.

Во-вторых, нужно отметить, что нам ни разу не встретилось движения, в котором динамическая устойчивость не базировалась бы на *синергиях таламо-паллидарного* уровня, иначе говоря, движения, которое не подвергалось бы полной деавтоматизации и глубокой деструкции при выпадениях этого уровня (например, при паркинсонизме). Это говорит о том, что построение и стабильное выдерживание этих форм, очевидно, обязательно нуждаются в той особой по качеству синтетической тактильно-проприоцептивной афферентации, которая характеризует этот уровень построения. Как уже было отмечено в гл. IV, достигаемая этим путем стандартность составляет одновременно как сильную, так и слабую сторону этого уровня.

Действительно, стандартность целостных двигательных актов уже совершенно не свойственна ни одному из более высоко лежащих уровней. В уровне пространственного поля *C* на высокой стандартности выдерживаются только некоторые ответственные стороны или фазы движения, в частности, фазы, связанные с особой точностью. В этих случаях коррекции уровня *C* очень легко идут на допущение широкой индиферентной вариативности в неответственных участках траекторий, заботливо и точно собирая их снова в один фокус к решающему пункту движения. Что касается задачи стабилизации движения, т.е. охранения его от сбиваемости, то здесь тактика вышележащих уровней прямо противоположна тактике уровня *B*. В этом последнем динамическая устойчивость со всеми вытекающими из нее следствиями используется как основное оружие против сбиваемости. В уровнях *C* и *D* та же задача решается основным образом на путях приспособительной вариативности.

* * *

Последняя из подлежащих рассмотрению фаз построения двигательного навыка есть *фаза стабилизации*, к характеристике которой мы и подошли вплотную. Начнем с примера.

Два разных исполнителя, А. и Б., могут с одинаковым совершенством выполнить один и тот же двигательный акт, обнаружив при этом равную степень точности и автоматизировнности, при условии протекания этого акта в оптимальной и стабильной обстановке. Однако достаточно возникнуть каким-нибудь осложняющим, сбивающим воздействиям внешнего происхождения или тем или иным вариациям, произвольно вносимым исполнителем в совершаемое им движение, чтобы тотчас же выявилась резкая разница в состоянии двигательного навыка у обоих исполнителей. У исполнителя А. эти внешние воздействия или допущенные им же самим преднамеренные модификации своего движения смогут вызвать частичный или полный распад той или другой компоненты движения, т.е. его *деавтоматизацию*, в то время как у исполнителя Б. от тех же причин не наступит никаких нарушений движения. В этих определенным образом измененных условиях Б. проявит более значительную степень стойкости против сбиваемости, большую прочность достигнутой им автоматизации. Мы условимся обозначать эту *сопротивляемость сбивающим влияниям* словом "*стабильность*" двигательного навыка или его отдельных компонент и деталей.

Факторы, обусловливающие явление сбиваемости, удобно подразделить прежде всего на группу помех и осложнений *подобного характера* и на сбивающие влияния и осложнения, возникающие *внутри* самого исполняемого двигательного акта. В обеих этих группах могут встретиться как экзогенные, так и эндогенные факторы.

К первой группе относятся такие экзогенные воздействия, как отвлекающий шум, слепящее, блесткое освещение, холод, сотрясения, толчки и т.п. Примерами эндогенных факторов этой же группы могут послужить утомление, головная боль, интоксикации, болезненные недомогания, те или иные нарушения в работе рецепторов и т.п. Хорошо известно, в сколь разной мере сказывается сбивающее, деавтоматизирующее действие факторов этих типов у людей с различными степенями выработанности и стабилизации навыка. К этой же группе причин возникновения деавтоматизации нужно отнести и соответствующие

органические поражения центральной нервной системы, рассматриваемые в гл. VI, IX.

Для явления сбиваемости *в норме* значительно больший интерес представляют осложняющие факторы, возникающие *в прямой связи с самой двигательной задачей.* Их также можно определить на две группы: экзогенную и эндогенную.

К первой отойдут осложнения в самой двигательной задаче: привходящие условия, смена привычного орудия или материала, скользкость, вязкость, неровность почвы — применительно к локомоциям, неполадки или атипичности — применительно к рабочему процессу и т.п. Именно на осложнениях этого рода особенно ярко сказывается степень освоенности двигательного навыка. На всем протяжении второго периода его выработки совершается деятельное "обыгрывание" реально встречаемых в осваиваемой задаче осложнений так, чтобы ни одно из них не могло застать исполнителя врасплох. Не нужно и подчеркивать, что сознательный, планомерный подбор вариантов и осложнений основной задачи, осуществляемый в этой фазе самим упражняющимся или его педагогом, может очень интенсифицировать усвоение навыка и повысить его стабильность[1].

К эндогенной группе сбивающих причин, связанных с задачей, нужно отнести те или другие непосильные *изменения в выполнении ее двигательного решения.* Это будут прежде всего *чрезмерные вариации* в двигательном составе, выходящие за пределы допускаемой вариативности. Гораздо более важны, однако, *изменения, выносимые в уровневую структуру* выполняемого двигательного акта.

Деавтоматизации возникают: 1) когда по какой-нибудь причине данный подчиненный уровень, на котором протекали автоматизированные фоны, становится ведущим; 2) когда движение, выработавшее себе автоматизированный фон при ведущем уровне *N*, само переключается на другой, непривычный ему уровень *P*. Первый случай имеет хорошо известную превосходную иллюстрацию в классической литературе — в описании косьбы Левина ("Анна Каренина"). Обрисованные два участника косьбы, привычный старик-крестьянин Тит и барин-дилетант Левин, очень близко воспроизводят соответственно тех лиц Б. и А., которые выведены в нашем вступительном примере. В то время как навык косьбы у старика отличается высокой стабильностью, работу Левина деавтоматизирует уже целый ряд сбивающих воздействий. В частности, с большой яркостью выявлено деавтоматизирующее действие переключения фоновых уровней в положение ведущего. Весь навык косьбы строится на уровне действий *D*. Пока Левин удерживал его в качестве ведущего уровня, т.е. имел ведущим мотивом смысловую сторону своих действий с травой, — все шло гладко, и синергетический фон работал безукоризненно[2].

---

[1] В первом периоде выработки навыка, в фазах выявления двигательного состава и сензорных коррекций, преждевременное внесение вариаций и сбивающих осложнений в условия задачи может, наоборот, принести только вред.

[2] Ведущее положение в эти моменты именно предметного уровня хорошо характеризуется указаниями Л. Толстого, на чем при этом концентрировалось внимание Левина: "Он ничего не думал, ничего не желал, кроме того, чтобы не отстать от мужиков и *как можно лучше сработать*". И далее: ..."В середине его работы на него находили минуты, во время которых он забывал то, что делал" (т.е. забывал вникать в свои движения. — *Н.Б.*), "ему становилось легко, и в эти же самые минуты ряд его выходил почти так же ровен и хорош, как и у Тита" (следовательно,

Но как только он начинал следить за своими телодвижениями, т.е. делал сознательным и ведущим фоновый уровень синергий, — немедленно наступала деавтоматизация. Этот вид деавтоматизации известен еще по шуточному рассказу о сороконожке, которая, будучи однажды спрошена, в каком порядке она переставляет свои ноги и что делает 17-я ножка в момент поднятия 28-й, сбилась до того, что не смогла более ступить ни шагу. Это справедливо, конечно, меньше всего для буквальных сороконожек.

Второй вид деавтоматизации из упомянутых выше может возникнуть, например, если ученика, разучившего фортепианный пассаж как чисто переместительный двигательный акт на уровне пространственного поля *С*, приглашают сыграть его под контролем звукового художественного восприятия, т.е. на ведущем уровне из группы, как кратко выражаются музыканты-педагоги, "играть и слышать". Достаточно такому ученику переключиться на эту новую афферентацию, чтобы пассаж, проходивший до этого уже вполне гладко, сразу совершенно разладился. Другим примером такого же переключения на непривычный уровень может послужить деавтоматизация ходьбы при хождении по шпалам, уже упоминавшаяся ранее по другому поводу.

Опасность возникновения подобных деавтоматизаций у разучиваемых навыков, т.е. бесплодных потерь времени и труда, должна бы побудить педагогов и тренеров спорта, труда, музыкального исполнения и т.д. с большей осторожностью составлять тренировочные задачи и упражнения. Если такое упражнение строится само по себе или ошибочно разучивается учеником не на том уровне, на котором должен протекать окончательный целесообразный навык, то автоматизация, приобретенная при этом упражнении, все равно собъется, как только учащийся попытается переключиться на ведущий уровень окончательно развитого навыка. Сюда относятся, например, такие ошибки, как тренировка фортепианной игры на немой или (еще хуже) на нарисованной клавиатуре, тренировка бега на коньках или плавания путем упражнений на полу или на скамеечке и т.п. Эта же угроза деавтоматизации относится и вообще ко всякого рода имитациям или передразниваниям натуральных движений, вроде тренировки рубки зубилом — на деревянном молоточке или тренировка подготовительных

следил он именно за качеством ряда. — *Н.Б.*) ("Анна Каренина". Ч. 3, гл.IV). Дальше, в гл. V: "Чем долее Левин косил, тем чаще и чаще чувствовал он минуты забытья, при котором уже не руки махали косой, а *а сама коса двигала за собой* все сознающее себя, полное жизни тело, и, как бы по волшебству, без мысли о ней, работа правильная и отчетливая делалась *сама собой*". Здесь очень ярко выражены: предметный характер ведущего мотива, автоматизированность всего процесса и уже упоминавшаяся выше (см. гл. VI) иллюзия ведения всего движения исполнительным орудием его. Дальше видно, как у мало тренированного Левина автоматизация *сбивается* при тех смысловых изменениях ситуации, которые имеют для себя у опытного Тита вполне автоматизированные двигательные корреляты: "Трудно было только тогда, когда надо было прекращать это сделавшееся бессознательным движение и думать, когда надо было окашивать кочку или невыполонный щавельник. *Старик делал это легко.* Приходила кочка, он изменял движение и где пяткой, где концом косы подбивал кочку с обеих сторон коротенькими ударами. И, делая это, он все рассматривал и наблюдал, что открывалось перед ним"... "И Левину, и молодому малому сзади его эти перемены движений были трудны. Они оба, наладив одно напряженное движение, находились в азарте работы и не в силах были изменять движение и в то же время наблюдать, что было перед ними". В этом замечательном тексте много тонких наблюдений над деавтоматизацией и над явлением сбиваемости. Весь пример ценен как автобиографическая зарисовка с натуры. (Выделения в тексте сделаны Н.А. Бернштейном. — *Примеч. ред.*).

движений к толканию ядра без ядра в руке. В лучшем случае такая псевдотренировка окажется бесполезной, а в худшем — сможет сбить и те автоматизмы правильного уровня, которые к этому времени успели накопиться у ученика другими путями. Напомним, что переключение или полная смена ведущего уровня есть всегда очень трудно дающийся и резко деавтоматизирующий процесс.

Итак, *сбиваемость* может быть обусловлена, во-первых, *осложняющими воздействиями или переменами,* способными нарушить или деавтоматизировать движение, а во-вторых, допущением в последнем чрезмерных, не выдерживаемых им *вариативных видоизменений.* В начале второго периода построения навыка стабильность фоновых компонент, только что переключенных в соответственные низовые уровни, можно считать близкой к нулю, и вся постройка может разрушиться, как карточный домик от первого дуновения ветерка. На протяжении второго, стабилизационного, периода разные стороны и детали двигательного акта постепенно увеличивают свою стабильность по отношению к явлению сбиваемости. Эти разные стороны и детали движения достигают посильной им наибольшей меры стабильности очень различными темпами, зависящими от качеств данной коррекции и от индивидуальных черт психомоторного профиля обучающегося. Далее, разным сторонам и деталям двигательного акта удается достигнуть весьма различных финальных степеней прочности и *стабильности,* различных как между разными деталями, так и избирательно у каждой из деталей по отношению к разным возможным факторам сбиваемости. У каждой фоновой компоненты движения, у каждого из качеств сенсорных коррекций до самого конца остаются свои особенно уязвимые стороны, свои ахиллесовы пяты, по отношению к которым стабильность навсегда задерживается на сравнительно низких уровнях. Это придает явлению сбиваемости и ее факторам черты *очень специфической избирательности* в зависимости от природы и характера фоновых компонент и коррекций, с одной стороны, и от свойств сбивающих факторов — с другой.

На изменяющиеся внешние воздействия координационные системы центральной нервной системы реагируют либо *компенсационными,* поправочными коррекциями, направленными к сохранению *стандартности* соответственной, попавшей под удар детали движения (так по большей части ведет себя, например, уровень синергий), либо же внесением в протекание движения тех или иных *приспособительных вариаций.* В этом случае степень стабильности той или иной детали движения прямо определяется шириной круга тех вариаций, которые еще безвредны для движения с точки зрения его сбиваемости.

Еще в гл. V было показано, что *вариативность движений,* как в случайном плане, так и в плане преднамеренном, где она приобретает обличье переключаемости, пластичности, экстемпоральности, викарной взаимозаменяемости и т.д., имеет свои специфические качественные особенности по каждому из уровней, очень отчетливо проявляющиеся на общем фоне количественного возрастания возможной вариативности деталей снизу вверх по уровням. При освоении нового двигательного навыка та степень и то разнообразие направлений вариативности, на которые может отважиться обучающийся по отношению к каждой из фоновых компонент движения, постепенно возрастают. Граница между безопасными для движения вариациями и теми, которые уже оказывают

на выполнение движения сбивающее, разрушающее действие, мало-помалу отодвигается.

Процесс *стандартизации* деталей движения, составляющий сущность второй из фаз автоматизации и только что обрисованный процесс *расширения диапазона допускаемой вариативности* идут во взаимновстречных направлениях, но движутся к одной общей для обоих цели — *стабилизации* двигательного акта. В начале осваивания навыка устойчивость движения против сбивающего действия вносимых в него вариаций низка, вариативность же, вызываемая неумением фоновых уровней вносить компенсирующие коррекции к изменчивым внешним условиям, наоборот, поневоле значительна. Отсюда, естественно, проистекает большое число сбоев проявлений разрушающей деавтоматизации. Чем дальше продвигается освоение, тем стандартнее и устойчивее оформляются фоновыми уровнями порученные им детали, а при этом все шире становится круг тех вариаций, которые центральная нервная система уже в состоянии безбоязненно позволить себе. Таким образом, число случаев, когда бы невольные, недокомпенсированные вариации вышли за пределы допускаемого диапазона, неуклонно стремится к нулю и обычно рано или поздно достигает его.

Если для уровня *B* основным оружием по линии стабилизации навыков и их компонент служит стандартность движений, выдерживание динамически устойчивых форм, соблюдение штампов и стереотипов, то в вышележащих уровнях мы сталкиваемся с обратной картиной. Через всю лестницу уровней построения красной нитью проходит одно явление: это непрерывный рост снизу вверх по уровням *переключаемости* и распространительной применимости двигательных навыков. Это явление стоит в прямом родстве с подобным же ростом приспособительной и компенсационной изменчивости всех вообще движений, что уже освещалось выше. Однако это свойство генерализуемости не рождается само собой с первых же шагов выработки нового навыка одного из верхних уровней построения: развитие его составляет непосредственное содержание *фазы стабилизации.*

Как уже было продемонстрировано на примерах, в фазе стабилизации приспособительная переключаемость навыков верхних уровней неуклонно возрастает, диапазон допускаемой вариативности расширяется. В навыках уровня пространственного поля нарастает и изменяемость форм траекторий, и взаимозаменяемость рабочих органов, и, наконец, переключаемость приемов, ведущих к решению одной и той же конечной задачи. Эта переключаемость лежит как в основе так называемой пластичности нервной системы, так и в основе широкой возможности *компенсаций и викариатов,* свойственной движениям и навыкам уровня пространственного поля. Еще более высокой степени достигает в ряде отношений приспособительная вариативность и пластичность навыков уровня действия *D*. Состав цепи движений и приемов, осуществляющих действие, может переключаться у высокоразвитого навыка в очень широких пределах. Ни один предметный навык никогда не реализуется дважды подряд точно одним и тем же порядком: в этом можно убедиться на любом виде действия, начиная от сложных профессиональных навыков и кончая закуриванием папиросы или завязыванием бантика на обуви. Что касается отдельных движений—звеньев цепного действия (высших автоматизмов, skills), то вариативность и переключаемость деталей внутри каждого из них прямо определяются

тем, на каком фоновом уровне осуществляется данный автоматизм. В среднем выводе, перемножая вариативности последовательных автоматизмов действия на вариативность состава всей цепи, мы придем здесь к показателям переключаемости, далеко превосходящим по высоте то, что доступно для уровня *С*.

Этот факт высокой и возрастающей от уровня к уровню пластичности навыков стоит и несомненной прямой связи с общим ходом последовательного развития моторики в филогенезе. Он становится понятным, если смотреть на развитие уровней построения как на биологический процесс приспособления организма к решению все более усложняющихся двигательных задач. Каждый уровень, как уже говорилось, возникает и развивается в ответ на появление перед организмом новых по содержанию и качеству задач. Чем сложнее задача, чем больше в ней элементов приноравливания к среде и к изменчивым обстоятельствам, тем большей гибкости, приспособительности и, следовательно, переключаемости она требует от двигательных координаций. Естественно, что каждый следующий кверху уровень построения обнаруживает все большую маневренность работы, все большую гибкость в выборе двигательных реакций.

Даваемая в этой главе трактовка автоматизации навыков позволяет подойти и к объяснению механизмов осуществления этой генерализации и переключаемости навыков. Чем выше мы поднимаемся по уровням построения, тем более широкие и обобщенные *сензорные синтезы* встречаем там в роли управляющих афферентаций. При описании соответствующих уровней мы могли уже видеть совершающийся в их сензорных полях, по пути снизу вверх, поочередный отрыв сначала от координатной системы собственного тела, затем от точной координаты пространства, потом от исполнительного органа, масштаба, метрики, геометрического подобия и т.д.

Здесь мы вновь встречаемся с тем самым явлением, которое сыграло уже такую важную роль в начальных фазах формирования навыка, — с явлением *переноса.* Если в фазе автоматизации перенос упражненности выявился в виде использования ранее выработанных адекватных автоматизмов, того, что мы обозначили как *перенос по навыку,* то в фазе стабилизации совершенно сходные механизмы вновь вступают в работу в значительно более многообразных формах.

Чем больше обобщено и синтетично сензорное поле, чем в большей мере оно независимо от работающего органа благодаря доминированию телерецепторов, помещающихся *вне его,* в тем более широком диапазоне могут быть находимы идентичные и общие разным вариантам действия сензорные коррекции[1]. Тангорецепторы и проприорецепторы должны помещаться на самом рабочем органе, вследствие чего создаваемая ими сензорная сигнализация навсегда закрепляется именно за последним. Если же коррекции базируются на сигналах телерецепторов и если они при этом синтезированы в целостное пространственное поле, не связанное с той или иной конечностью, то понятно, что такие коррекции, будучи раз выработанными, с разной легкостью и точностью

[1] У животных, у которых рабочим органом для очень многих двигательных актов служит морда, несущая на себе телерецепторы, это обстоятельство несомненно очень сильно препятствует указанному обобщению сензорных полей и подчеркивает значение, какое имел переход многих операций от пасти к руке.

могут управлять движениями самых разнообразных исполнительных органов. Это обстоятельство объясняет механизмы так называемого *переноса по органу,* выявляя попутно и причину избирательно различной податливости разных уровней к переносам этого рода.

Уровень синергий, наиболее тесно связанный с танго- и проприорецепторикой, по указанным причинам очень мало податлив к переносам по органу, хотя его сензорное поле уже в некоторой степени объединено в единую координатную систему собственного тела. Огромная обобщенность синтетического поля пространственного уровня *C* (особенно его верхнего подуровня) уже была в достаточной мере подчеркнута. Генерализованность сензорно-гностического синтеза уровня действий *D* заходит еще дальше; его пространство упорядочивается "качественной геометрией" (топологией), его кинематика — своего рода "качественной форономией". В связи с этим после выработки в каком-либо рабочем органе сложного двигательного навыка обнаруживаются с большой и строгой избирательностью эффекты переноса компонент этого навыка в другой, не подвергавшийся упражнению орган: фоны и автоматизмы из уровня *B* — в минимальной степени, те же элементы из уровня пространственного поля и из самого уровня действий — в очень большой мере, с единственным ограничением по адресу последнего — в том, что касается неравноценности в нем правой и левой руки.

Все большая генерализация компонент навыка на основе синтетических сензорных полей составляет существенную часть стабилизационной фазы по линии уровней *C* и *D*. Наряду с переносом по органу здесь развиваются и многие другие формы переноса упражненности. В сущности все то, что в одномоментном разрезе воспринимается нами как *переключаемость* навыков и элементов, с точки зрения динамики возникновения всегда имеет под собой соответственный вид *переноса.* И то, и другое непосредственно базируется на генерализованности соответственного сензорного поля и на возрастающем уменье использовать ее. Таким порядком в высокоразвитом двигательном навыке проявляет себя переключаемость, а тем самым и перенос, по форме и строению элементов двигательного состава, по рабочему приему, наконец, по структуре самой цепи действия.

* * *

Закончим очерк развития двигательного навыка несколькими дополнениями по вопросам, непосредственно близким к этой теме. Первое из них относится к одной разновидности сензорных коррекций, развивающейся явно в поздних фазах выработки двигательных навыков и заслуживающей упоминания в связи с ее частой встречаемостью.

Мы не один раз настойчиво подчеркивали, какой иррегулярностью и непредусмотримой изменчивостью обладают не подвластные организму реактивные и внешние силы. Теперь своевременно будет сказать, что по отношению к стандартизуемым сторонам и элементам движений: большим локомоторным синергиям, динамически устойчивым движениям, точностным эпизодам и т.п., на основе накапливаемого опыта постепенно вычленяется какая-то часть внешних воздействий, которая может быть в большей или меньшей мере *учтена заранее.* Это создает возможность предварительных, или *прелиминарных,*

коррекций, включаемых в самые начальные моменты данного эпизода движения. В этих случаях прелиминарные коррекции приходят на смену применявшимся до этого вторичным коррекциям, или коррекциям post factum, вносившим в движение поправки по мере фактического накапливания отклонений.

Такие прелиминарные коррекции вырабатываются, например, по ходу развития *ходьбы* у маленького ребенка (Т.С. Попова) применительно к переносному времени ноги. На втором-третьем году жизни вслед за основным разгибательным импульсом ε в самом начале переноса ноги обязательно имеет место второй импульс того же направления, во второй половине переносного времени ("детская" ζ). Величина второго импульса очень изменчива и близко соответствует колебаниям длины шага, также очень значительным в этом возрасте. Этот "детский" добавочный импульс, явно играющий роль вторичной коррекции к длине шага, совершенно исчезает к более позднему возрасту. В то же время стандартность длины шага у детей старшего возраста и у взрослых очень высока; она обеспечивается в самом главном прелиминарной силовой волной ε. На месте "детской" вторично коррекционной волны в силовых кривых у детей старшего возраста и взрослых имеются лишь очень незначительные и крайне вариативные зубчики, на долю которых достаются последние, уточняющие поправки.

Подобные же прелиминарные коррекции имеют место и в начальные моменты переноса ноги при беге. Как уже было сказано выше, этот перенос ноги течет при высокоразвитом навыке бега как динамически устойчивое движение, реализующееся почти без вмешательства активной коррекционной динамики. Начальный импульс этой фазы движения как бы пускает ее в ход, внося в нсе прелиминарно те коррекции, которые осуществимы к этому моменту; дальше же движение развивается само собой, подобно метко брошенному мячу.

Совершенно естественно, что видная роль отводится прелиминарным коррекциям в *баллистических движениях*: удара, толкания, метания. Опытные инструкторы по слесарному делу указывают, что меткость ударного движения при рубке зубилом определяется еще в замаховой части этого движения. Тем более важны прелиминарные коррекции при метательных движениях, где бросаемый предмет вообще лишается управления с момента выпуска из рук. Наконец, аналогичная роль выпадает на их долю и при *прыжке,* который можно с правом рассматривать как метание собственного тела и в котором какое-либо управление движением общего центра тяжести тела становится невозможным с момента начала полетной фазы.

На высоких ступенях развития цепных предметных навыков уровня действия *D* точно так же могут сформироваться прелиминарные коррекции. В этом случае коррекции указанного рода всегда исходят *из самого ведущего уровня D* и, как показывает патология выпадений, их реализация непосредственно связана с нормальным функционированием премоторных систем коры. Психоневрологи обозначают это или близко родственное ему явление термином *антеципация.* Насколько это удается проследить, прелиминарные коррекции образуются у искусных исполнителей; например, в двуручных (бимануальных) трудовых операциях. Благодаря им для исполнителя становится возможным, "запустив" одну из рук на выполнение очередного звена действия, сосредоточить затем

все внимание на подобной же антеципационной подготовке к запуску другой и т.д. Судя по общности выпадений при клинических синдромах, антеципации стоят очень близко к корковым "пусковым механизмам" движений, к явлениям нервно-психической "установки" — к кругу явлений, далеко еще не доведенных до полной ясности и обследованности.

Очерк развития навыков следует дополнить еще анализом одного из сложнейших навыков, двигательно реализуемых в уровне действий, — навыка *письма* (скорописи). *Акт скорописи* в его сформированном виде обладает значительно большей сложностью координационного построения, чем рассмотренные в гл. VII акты хватания и локомоции; недаром же и его расстройства при очаговых и системных поражениях мозга так разнообразны. *Уровень палеокинетических регуляций А* обеспечивает, во-первых, общий тонический фон пишущей конечности и всей рабочей позы, а во-вторых, основную вибрационную иннервацию мышц предплечья (пронаторы и супинаторы, а также флексоры и экстензоры запястья и пальцев). Эта вибрация как и все, реализуемые этим уровнем, монотонна, очень ритмична и протекает, как вынужденное упругое колебание, по почти чистой синусоиде — элементарнейшей из всех кривых колебательного процесса. *Уровень синергий В* обеспечивает плавную округлость движения и его временной (ритмический) узор: первая осуществляется посредством создания очень тонкой, но прочной синергии всех мышц кисти и предплечья, дающей тонко постепенные переливы напряжений из одних мышц в другие. Группа фоновых координаций, реализуемых уровнем *В*, легко вычленяется для наблюдения, благодаря тому что фоны этого уровня совершенно не переключаемы не только на другие конечности, но даже на другие пункты той же конечности. Наоборот, двигательные компоненты, осуществляемые стриальным подуровнем *С1* и кортикальными уровнями, легко переключаемы в порядке "пластичности нервной системы". Заставив испытуемого без предварительной тренировки писать разными точками правой руки, левой рукой, кончиком стопы и т.п. (см. рис. 43) и наблюдая за процессом письма и изменениями почерка, мы можем ясно опознать фоновые компоненты из уровня *В* в отличие от всех прочих. Как правило, при таких переключениях вся общая физиономия "почерка" сохраняется полностью, но округлая плавность движений и буквенных очертаний, составляющая характерную черту скорописи и являющаяся непосредственной причиной ее беглости, целиком исчезает, заменяясь затрудненной угловатостью и медленностью движений, напоминающими движения начинающих.

Стриальный подуровень С1 вносит в акт письма те же элементы прилаживания к пространству по ходу процесса, что и в ходьбе: реализацию движения кончика пера по поверхности бумаги, *вдоль* действительных или воображаемых линеек, квалифицированную хватку и держание орудия письма и т.д. Участие верхнего, *пирамидного подуровня пространственного поля С2* труднее формулировать. Насколько можно в настоящее время судить об этом по клиническому материалу выпадений, на его долю приходится осуществление геометрической, начертательной стороны письма: выполнение контуров букв и соблюдение как раз того, что составляет *существенную часть почерка,* т.е. геометрического подобия изображаемых букв некоторым общим стандартам данного лица, которые воспроизводятся им одинаково при всяких масштабах письма, разных позах (сидя, пером, или стоя, мелом и т.п.)

и орудиях писания[1]. Эти характеристические стандарты сохраняются и при переключении на любую из конечностей. Еще одна техническая подробность акта письма, обычно ускользающая от внимания наблюдателей, но имеющая первостепенное значение, реализуется, по-видимому, уровнем пространственного поля в его целом.

Сложное движение по плоскости, след от которого на бумаге и составляет результат акта письма, представляет собой *траекторию кончика* пера или карандаша. Для того чтобы эта точка, отстоящая от концов пальцев на несколько сантиметров (на два десятка поперечников выписываемых букв), могла проделать все требуемые подробности движения с точностью, исчисляемой десятыми долями миллиметра (как при письме, так и при рисовании), другие пункты сложной кинематической цепи руки с пером должны выводить в пространстве совсем другие, но при этом не менее точные траектории. Как показывают точные циклограмметрические наблюдения движений письма, даже концы пальцев, ближайших к кончику пера, совершают движения не плоскостные и настолько отличающиеся от движений пишущего острия, что след их уже не доступен прочтению (рис. 91—93, *не помещены. —Примеч. ред.*). Еще более далеки от конфигурации выписываемых букв траектории пястно-фаланговых сочленений кисти, по которым уже совершенно невозможно угадать написанный текст. Таким образом, ни одна из точек самой конечности не выписывает в пространстве ни одной буквы, а только резко, хотя и закономерно, искаженные их видоизменения (анаморфозы), причем сам испытуемый, как общее правило, не имеет осознанного понятия о том, как выглядят эти производные анаморфозы. Эту-то перешифровку и выполняет уровень *C*, и (заметим, забегая вперед) ее автоматизация представляет собой одну из наибольших трудностей при обучении письму ребенка. Поскольку построение этой перешифровки нуждается в зрительном коррекционном контроле, ее освоение никогда не удается в удовлетворительной мере слепорожденным, что и налагает своеобразный, характерный отпечаток на их почерк.

Наконец, *уровень действий D*, анатомические субстраты которого в коре включают и известные клиницистам графические центры, осуществляет вместе с высшей уровневой группой *E* смысловую сторону письма. Для этого уровня буквы — уже не геометрические конфигурации, а смысловые схемы, ассоциированные и с их звуковыми образами, и с начертательными образами слов. Именно эти уровни "модулируют" монотонные фоновые вибрации, задаваемые низовыми уровнями, как это было указано в гл. IV.

Роль премоторной системы в организации акта письма вполне определяется теми ее свойствами, которые были охарактеризованы в гл. VI, и полностью же подтверждается наблюдениями расстройства письма при выбытии ее из строя. Такое выключение премоторных функций ведет к деавтоматизации письма, т.е. к возврату его техники на уровень, очень близкий к уровню

[1] В гл. IV было указано, что почерк, как и походка, туше, повадки и т.п., определяются уровнем *B*, что совершенно правильно, но требует уточнения. Уровень *B* придает почерку его общий *выразительный облик*, проявляющийся в его округлости, угловатости, решительности и т.п.; уровень же *C2* обусловливает *стандарты геометрических очертаний* отдельных букв и письменных знаков.

начинающих школьников: вместо слитного, опирающегося на автоматическую колебательную синергию, быстрого процесса появляются отдельные, разрозненные движения и нажимы. По терминологии А. Лурия, совершается распад кинетической мелодии чередования активных и пассивных элементов. Это разрушает не геометрический, топологический образ буквы, как бывает при очагах сензорной и гностической аграфии (гл. VI), а только автоматизированный навык скорописи; буквы получаются у премоторного больного не искаженные и бессмысленные, а только огрубленные и неуклюжие по очертаниям и медленные по выполнению.

Таким образом, в письме, как и в других навыках, премоторная система не вносит никаких новых коррекционных элементов, а лишь обеспечивает возможность полновесного автоматизационного использования фоновых уровней, главным образом здесь — уровня синергий.

Нет сомнения в существовании и влиянии на процесс письма кортикальных *уровней, более высоких,* чем *D*. Их существование вскрывается и доказывается разнообразием форм патологических нарушений смысловой стороны письма (выпадение, персеверация, параграфия и т.д.) при различных локализациях поражений мозга, о чем была уже речь в гл. VI. В этом пункте — уже неощутимый переход в область чистой психологии; поэтому уместно ограничиться сказанным выше о моторной координационной структуре письма, чтобы вкратце проследить с помощью этого анализа развитие письма у обучающегося.

Существенное отличие процесса освоения письма от изложенного в гл. VII хода развития схватывания предмета в том, что потребность схватывания возникает с первых же недель жизни ребенка, когда анатомическое развитие завершено только у субстратов самых низших уровней. Вначале акт осуществляется суррогатно, с помощью наличных координационных ресурсов, а в дальнейшем неукоснительно передвигается *снизу вверх,* в направлении энцефализации, по мере поочередного дозревания уровней, вплоть до наиболее адекватного этому акту, на котором ему суждено остаться уже на всю дальнейшую жизнь. С письмом происходит как раз наоборот. Обучение этому навыку начинается тогда, когда формирование уровней в основном закончилось, и в связи с этим протекает в своей принципиальной схеме так же, как и типические процессы освоения навыков у взрослого, т.е. в порядке постепенной передачи компонент *сверху вниз.* Ребенок имеет здесь преимущество перед взрослым в том, что его центральная нервная система значительно пластичнее и гибче; наоборот, преимущество взрослого при обучении новым навыкам — в наличии у него более богатых фондов коррекций, запасенных им за предшествующую жизнь, т.е. вспомогательных, фоновых автоматизмов, которые он может использовать в новой встретившейся ему комбинации в порядке переноса.

По типической схеме освоения навыка реализация письма у абсолютного новичка начинается *с верхнего,* ведущего уровня этого акта, во всяком случае (оставляя под вопросом роль высших гностических уровней), с наивысшего из уровней, связанных с чисто моторной, координационной стороной процесса письма, а именно с уровня действий *D*.

Ребенок, знающий буквы и осваивающий грамоту, изображает (печатные) буквы в виде их основных *схем*, при очень грубой пространственной геометрической

координации. Здесь достойны внимания два обстоятельства, освещающие некоторые из сторон координационного построения письма.

Еще неграмотный, но владеющий карандашом и интересующийся книгой ребенок охотно *срисовывает* буквы, копируя их при этом, разумеется, со всеми замечаемыми им подробностями типографского шрифта — черточками, выступами и т.д., поскольку он еще не различает в буквах существенного от несущественного. Когда же наступает более поздняя фаза попыток уже смыслового письма печатными буквами, все эти черточки и завитки куда-то исчезают; получается впечатление, что графика ребенка стала небрежнее. Это неверно. Он просто уходит от геометрического образа буквы, которую он срисовывал на уровне пространственного поля как узор, и переключается на смысловую *схему* буквенного знака из уровня действий, для которой украшения уже не имеют значения.

Другая интересная деталь — обилие в описываемой фазе зеркально обращенных букв, а иногда даже целых слов (нередко сопровождаемое аналогичными ошибками и в прочитывании слов), зависит от описанной уже в гл. VII, имеющей место на этой ступени онтогенеза *доминантности уровня пространственного поля,* индифферентного к различиям правой и левой. Когда в дальнейшем преобладание и по относительному количеству двигательных актов, и по их значимости переходит к уровню действий, эти ошибки полностью исчезают.

Упомянем о некоторых фазах, неизбежно проходимых каждым подростком независимо от применяемого к нему метода обучения. Первое время обучения ребенок пишет крупно, и это зависит не только от относительной количественной грубости его пространственных координаций. Видимо, главная причина в том, что, чем крупнее письмо, тем меньше относительная разница между движениями кончика пера и движениями точек самой руки, т.е. тем проще и доступнее уже описанная перешифровка. Это прямо подтверждается циклографическими наблюдениями. Только постепенно, по мере освоения этой перешифровки, ребенок выучивается переносить на кончик пера сначала зрительные, а потом и проприоцептивные коррекции, приобретая уменье автоматически обеспечить кончику пера любую требуемую траекторию. Это постепенное освоение письма позволяет ему уменьшать мало-помалу величину выписываемых букв. Характеризуемая перешифровка и ее освоение заслуживают внимания потому, что она представляет собой общее явление, имеющее место во всех действиях, совершаемых с помощью орудия: ножа, иглы, паяльника, плоскогубцев, электросварочного прибора и т.п. Взрослый, осваивающий технику работы с таким орудием, имеет в своем распоряжении уже много аналогичных, ранее приобретенных навыков, для которых часто как раз письмо является первым прототипом; ребенку, лишенному такого опыта, все это дается значительно труднее.

Автоматизация описанной перешифровки состоит в переключении этой координационной компоненты из ведущего уровня действий вниз, в уровень пространственного поля *C*.

Наряду с этим процессом совершается автоматизация другого рода — освоение письма по линейкам. Движение предплечья, ведущего перо вдоль строки, прилаживается к требованиям расчлененной плоскости, лежащей перед глазами, и постепенно переводится из компетенции зрительного контроля в область проприоцептивного, при котором ровная расстановка и направленность

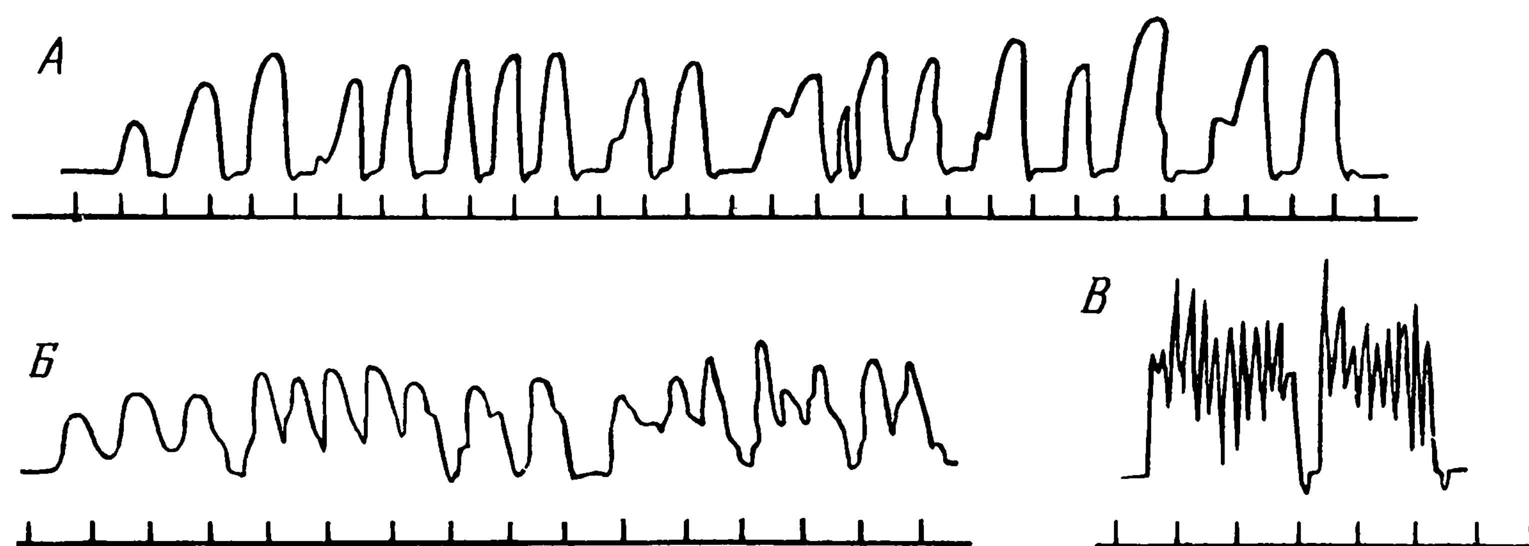


Рис. 94. Кимографическая запись нажимов при написании слов: "Маша несла"
А — ученик 1-го класса; *Б* — ученик 2-го класса, *В* — студент. Слияние графических элементов и переход в скоропись (Е. Гурьянов)

строк удаются уже и на неразграфленной бумаге. Эта фоновая слагающая переключается из ведущего уровня в стриальный подуровень *C1*.

Наконец, постепенно уже осуществляется, но осваивается медленнее и труднее всего остального овладение собственно скорописью, связанное с выработкой фоновых автоматизмов в обоих нижних уровнях — таламо-паллидарном *В* и рубро-спинальном *А*. На этом пути осваивается правильное распределение нажимов, т.е. управление усилиями по третьей координате, перпендикулярной к плоскости бумаги. Перо перестает цеплять за бумагу, делать кляксы и выводить утрированные нажимы. Приобретается навык слитного писания слов и позднее всего — скорописная несущая колебательная синергия. Самые древние по филогенезу и развивающиеся раньше всех остальных в онтогенезе уровни обуздываются труднее и позже всех, так что настоящая скоропись вырабатывается только путем очень долгой практики, всегда уже по выходе из отрочества (рис. 94).

* * *

Закончим эту главу еще несколькими замечаниями по вопросам деавтоматизации, имеющими известное практическое значение.

В тех случаях, когда деавтоматизация не вызвана органическими поражениями и не является в связи с этим невосстановимой, вызванные ею нарушения движения могут быть сравнительно легко ликвидированы. Процесс восстановления уже имевшей место, но почему-либо временно утраченной или ослабевшей автоматизации движения заслуживает названия *реавтоматизации*. Этот процесс не включает ни новой выработки фоновых автоматизмов, ни создания каких-либо викарных заплат на образовавшиеся координационные прорехи, а, как правило, сводится только к приведению в работоспособное состояние тех же самых автоматизмов, которыми центральная нервная система прочно располагала до наступившей деавтоматизации. В некоторых случаях, когда деавтоматизация явилась ответом на чрезмерное сбивающее влияние от внешних воздействий или от нерассчитанно больших, произвольно допущенных в движении вариаций (см. гл. IX), достаточно просто устранить эти сбивающие воздействия. чтобы получить немедленную реавтоматизацию. В других случаях положение бывает

более сложным, и тогда характер реавтоматизации зависит от условий, вызвавших деавтоматизацию, и от обнаруживаемых ею самой свойств. Один из таких случаев представляет самостоятельный практический интерес, почему и заслуживает особого краткого рассмотрения.

Каждый выработанный двигательный навык в его готовом, автоматизированном виде и рабочем состоянии можно рассматривать как некоторую *функционирующую констелляцию* в центральной нервной системе, не предрешая пока ближе, что подразумевать под ней в материальном плане.

За подобной рабочей констелляцией всеми признаются свойства нестойкости, непрочности, заставляющие ее частично распадаться немедленно вслед за прекращением рабочего процесса. Бесспорно, что все рабочие констелляции. соответствующие активной, работоспособной установке на реализацию выработанного навыка, уже от самого действия времени, от жизненной тряски, довольно быстро разрегулируются при бездействии, как тонкий прибор, перевозимый по неровной дороге.

Очень похоже, что те рабочие элементы, из которых монтируются констелляции, настолько немногочисленны и находятся в настолько большом спросе, что по миновании фактической надобности в применении констелляции *А* отдельные элементы тотчас же начинают изыматься из нее как необходимые для возведения следующих очередных рабочих констелляций *В, С* и т.д. Еще сильнее, чем время, на констелляции действует разрушающим, разрегулирующим образом включение других подобных им, имеющих тождественные с ними элементы констелляций.

Большие промежутки времени (порядка недель или месяцев) неиспользования той или другой констелляции навыка, т.е. неупражнения последнего, деавтоматизируют навык в сравнительно крупном масштабе, так что для реавтоматизации требуется уже настойчивое упражнение — *ретренировка.* Важно отметить, что деавтоматизация наступает отнюдь не одновременно и не одинаковыми темпами по разным компонентам навыка. Напротив, известно, что по отношению к одним компонентам имеет место особенно большая нестойкость и быстрота растренировывания от неупражнения, в то время как другие компоненты, например определяющие "секреты" плавания, велосипедной езды и т.п., охарактеризованные выше, обладают, по-видимому, пожизненной неразрушаемостью.

Действие на навыковую констелляцию *малых промежутков времени,* например ото дня ко дню, качественно иное. Частичная разрегулировка констелляций успевает произойти и за эти короткие интервалы, и при всех видах рабочих процессов первые десятки минут после возобновления работы всегда уходят на их подстройку и восстановление. Это широко известный феномен "врабатывания" или вхождения в работу. Физиологическая суть и структура врабатывания еще далеко не исследованы; вероятнее всего даже, что в разных случаях речь идет об очень различных между собой физиологических процессах. В одних случаях, например при мелких и точных работах, центр тяжести врабатывания, несомненно, лежит в каких-то тонких подстройках и подрегулировках координационных фоновых механизмов; в других — играет решающую роль вхождение в определенный рабочий темп и ритм, и тогда большую пользу приносит вступительная гимнастика, рассчитанная как можно точнее на ритм предстоящей работы. Наконец, в иных случаях врабатывание ближе

всего напоминает приобретение разгона, инерции работы, своего рода запуск мотора или раскачку тяжелого маятника. Несомненно, что успешность описываемой разновидности реавтоматизации — врабатывания — должна прямо зависеть от правильности анализа этого процесса в каждом отдельном случае и от адекватности принимаемых в связи с этим вспомогательных мер. Одна всеобщая особенность врабатывания заслуживает самого пристального внимания при его анализе: степень и характер частичных разрегулировок и деавтоматизаций, вызывающих необходимость врабатывания, стоят вне зависимости от давности и стабильности приобретенного навыка. В связи с этим, правда, в несколько различной мере для навыков разного типа и уровневого состава, длительность и способы требующегося врабатывания менее всего определяются давностью навыка. Это заметно отличает деавтоматизации, преодолеваемые врабатыванием, от растренированности, обусловленной более или менее длительной запущенностью упражнений по данному навыку: после больших перерывов старые, прочно усвоенные навыки, как правило, восстанавливаются быстрее.

Насколько быстро наступает в некоторых случаях деавтоматизация от времени, видно из того, какое сбивающее действие оказывает на известные виды работы допущение частых микропауз, каждый раз требующих нового врабатывания. При составлении графиков микрорежима данной работы необходимо считаться со степенью деавтоматизируемости того или иного вида работы под действием даже кратчайших промежутков времени между рабочими периодами[1].

---

[1] Л. Осипов и Е. Бабаева провели в Центральном научно-исследовательском институте физической культуры (1934—1940) ряд специальных исследовавний процесса врабатывания и роли производственной гимнастики и физкультпауз. По их данным:

1. "Длительное вхождение в работу (на протяжении часа и больше) главным образом имеет место в тех видах производственного труда, где темп движений рабочего не обусловлен скоростью работы механизмов; однако вхождение в работу может иметь место и при работе на конвейере. По преимуществу длительное вхождение в работу наблюдается при ручных операциях, связанных с небольшими физическими усилиями, и там, где характер работы требует большой координации движений".

2. "... устойчивое состояние работоспособности организма, которое наступает после более или менее длительного периода вхождения в работу, обусловливается не только приспособлением сердечно-сосудистой и дыхательной системы, но главным образом соответствующей настройкой центральной нервной системы на выполнение данной работы".

3. Применение вводной гимнастики, разработанной в соответствии с особенностями труда, в частности, с его темпом, помогает рабочим быстрее настроиться и сокращает период вхождения в работу (например, на обувной фабрике, где в дни с вводной гимнастикой рабочие-стахановцы расходовали на первую пару заготовок в среднем на 19,4 с меньше времени и производили за первые 15 ч работы больше на 1—2 пары заготовок, чем в контрольные дни без вводной гимнастики).

4. 3- или 4-минутные физкультпаузы (активный отдых) при правильной организации их дали положительный восстановительный эффект на десятках предприятий СССР. На Калужском электромеханическом заводе интенсивность работы сборщиков телефонных аппаратов возросла на 9,3%; на Шарикоподшипниковом заводе им. Л.М. Кагановича в шлифовальном цехе — на 6,3%; на обувной фабрике "Парижская коммуна" — на 3,6% и т.д. (*Осипов Л., Бабаева Е.* Производственная гимнастика. М., 1940. С. 4—7).

Глава девятая

ПРИЗНАКИ УРОВНЕВОЙ СТРУКТУРЫ В ПАТОЛОГИИ И В НОРМЕ

В предшествующих главах мы стремились, где только это оказывалось возможным, указать на точки приложения излагаемой здесь теории к повседневной практике, иллюстрируя все ее основные положения конкретными примерами, извлеченными из жизни. В частности, вся предыдущая гл. VIII представляет собой такое приложение к области педагогической практики — к вопросам развития навыков спорта, труда или исполнительского искусства.

Нам остается подвести итоги, насколько это возможно сделать, приложениям теории координаций к области *двигательной патологии* и, в частности, к патологии нервной системы, что до этого момента делалось нами лишь мимоходом, попутно, при характеристиках отдельных уровней построения. Отнюдь не покушаясь на какую-либо переработку невропатологической семиотики, мы лишь попытаемся дать здесь краткий очерк тех изменений, которые вносятся в трактовку очаговых и системных нарушений моторики и претерпеваемых ими компенсаций согласно теории сензорных коррекций. Главным же образом необходимо остановиться на насущном и естественно встающем перед каждым читателем вопросе *о критериях* для суждения об уровневом построении двигательных актов, *об объективных специфических признаках,* способных помочь установлению различных сторон и характеристических черт этого построения и пригодных в перспективе для дифференциально-диагностического использования.

В искании таких признаков построения мы исходим все из тех же основных позиций об *избирательной контингентности* движений, управляемых каждым из уровней центральной нервной системы. Мы делаем ударение не на вопросе, *что́ нарушается в движениях* (всех вообще) при так или иначе локализованном очерченном очаге, а на вопросе, *какие именно движения* нарушаются в связи с ним. Что же касается первого вопроса, то качественные расстройства отдельных сторон и деталей отделки, обнаруживающиеся при подобном очаге в преобладающем большинстве движений, понимаются нами со всей отчетливостью как нарушения в протекании *определенных технических фонов*, управляемых пострадавшим уровнем, т.е. опять-таки с конкретным учетом контингентности и уровневой принадлежности этих фонов. Действительно, если даже, как это чаще всего и бывает, вызванное болезненным очагом двигательное расстройство не ограничилось узким списком движений одного уровня, а отразилось почти без изъятий на всей моторной сфере больного, то и в этом случае всегда возможно либо установить, что в страдание фактически вовлечены анатомические субстраты или проводящие пути *всех* координационных уровней, либо же убедиться в том, что различные движения пострадали далеко не одинаковым образом и не в одинаковой мере, с выпуклой избирательной специфичностью, подчас уже теперь доступной яркому и ясному истолкованию.

Специфические признаки, в которых мы нуждаемся для возможности уверенного практического приложения теории координации как к патологии, так и к норме, должны обладать безусловной *избирательностью* по отношению к отдельным уровням построения и при этом должны обеспечивать ответы на три вопроса:

1. *Каков ведущий уровень* данного двигательного акта, определяющийся содержанием двигательной задачи, разрешаемой этим актом, и определяющий, в свою очередь, его смысловую структуру?

2. *Каков уровневый состав* данного акта, т.е. какие уровни фигурируют в существенной мере в его двигательном составе, каковы их относительные пропорции и удельные веса во всем акте в целом и в его цепных сукцессивных компонентах?

3а. Дана деталь, сторона или компонента движения: *какому фоновому уровню* она обязана своим существованием?

3б. Дан фоновый уровень: *какие из деталей* или сторон наблюдаемого движения обусловливаются и ведутся этим уровнем?

Эти основные для суждения о нормальном движении вопросы легко переформулируются и применительно к патологии. Цель всех их по отношению как к нормальной, так и к патологически измененной моторике и практическая польза, приносимая анализом построения двигательного акта, в возможности выработки рациональных путей и приемов для трудовой и спортивной педагогики, для трудо- и кинетотерапии, лечебной физкультуры и т.п. и в возможности суждения о том, где, как и каких именно следует искать ресурсов для создания целительных викариатов и субституций. Цели их же для нервной клиники — в облегчении и уточнении топической диагностики очаговых поражений; в содействии тому, к чему стремится всякое увеличение чувствительности и точности методом исследования больного — ранней диагностики, резко повышающей шансы на его исцеление; наконец, в создаваемой ими возможности дифференцированного изучения динамики викариатов и компенсаций после остро возникшего очагового заболевания, что представляет большой научный интерес.

Мы не будем касаться здесь признаков (может быть, наиболее перспективных в будущем), опирающихся на физиологическую специфику нервного процесса по каждому из уровней построения: на особенности протекания эффекторных "залпов" возбуждения, характеризуемые поведением биоэлектрических потенциалов мозга и мышц, на изменения показателей тканевой и синаптической возбудимости, на взаимоотношения эффекторного процесса с деятельностью вегетативной нервной системы, с гуморальной составляющей и т.п. Все это — вопросы, находящиеся в настоящий момент еще в самой зачаточной фазе исследования. Изложение наших исследовательских материалов по этим вопросам составит предмет особой, подготовляемой сейчас к опубликованию работы. Здесь мы ограничимся описанием признаков, доступных безаппаратурному наблюдению в гимнастическом зале, в консерваторской келье или у постели больного. Часть таких признаков обнаруживается уже при простом наблюдении спонтанного двигательного поведения субъекта; другая — выявляется при проведении тех или иных испытательных проб.

* * *

Как уже было указано в гл. VI, мы различаем в каждом двигательном акте его смысловую структуру и его двигательный состав. *Смысловая структура,* непосредственно вытекающая из содержания двигательной задачи и, в свою очередь, вполне определяющая адекватное последней синтетическое сензорное поле, может рассматриваться как наиболее солидный источник для суждения *о ведущем*

уровне построения данного акта. О фоновом уровневом составе, т.е. о построении движения в полном объеме этого понятия, смысловая структура по большей части не содержит выразительных указаний.

Двигательный состав акта, по крайней мер при грубом, макроскопическом наблюдении простым глазом, наоборот, мало характерен для решения вопроса о ведущем уровне, поскольку (как мы видели выше, начиная с гл. II) движения, зачастую очень сходные по своему внешнему облику, могут протекать на самых различных уровнях построения. Правда, более тонкий (например, циклограмметрический) анализ двигательного состава может вскрыть некоторые уровневые особенности и различия в таких одинаковых с виду движениях, потому что разные качества сензорных коррекций ведущего уровня, естественно, придают движениям каждого из уровней построения несколько иное оформление.

Ответы на второй и третий из сформулированных выше вопросов дает двигательный состав, и признаки, описываемые в настоящей главе, как раз способствуют его анализу. Какие технические фоны, какими темпами, в каком порядке и с какой степенью адекватности сумел привлечь субъект к решению вставшей перед ним задачи; в какой степени эти фоны сумели сработаться совместно, какую форму и степень автоматизации обеспечить; наконец, какую меру устойчивости против деавтоматизации под действием тех или других сбивающих влияний смогла создать для них центральная нервная система? Для ответа на все эти вопросы и должны быть найдены достаточно надежные и объективные критерии.

Среди признаков для аналитического суждения о двигательном составе и его расстройствах одни относятся главным образом к двигательной патологии и применимы вне ее только в случаях временных функциональных нарушений: при переутомлении, интоксикации и т.п. Другие признаки применимы в равной мере как к случаям болезненных расстройств двигательной сферы, так и к полноценной норме, обладая, таким образом, наибольшей экстенсивной универсальностью. Мы начнем обзор с первых.

* * *

Каждый четко очерченный, остро возникший очаг в центральной нервной системе с неосложненным течением (выбираем для началу эту наиболее ясную ситуацию) обусловливает определенные сдвиги во всех проявлениях жизнедеятельности. Правильнее сказать, что такой очаг создает даже не явления, а определеным образом измененные по сравнению с нормой русла или рельсы для протекания явлений. Как правило, задача клинициста состоит в диагностической *индукции*; он должен в своих заключениях идти от доступных его наблюдению явлений к вызвавшей их причине, очагу и его свойствам. Среди этой-то массы явлений он должен стремиться найти *патогномоничные признаки*, т.е. явления наиболее выразительные и специфичные для затронутых уровней.

Сложность синдромов зависит, конечно, от огромного многообразия причин, определяющих измененное протекание явлений.

Явления определяются прежде всего *топикой* очага, т.е., точнее говоря, вовлеченным в очаг органом или функциональной системой мозга; здесь играет, кроме того, роль протяженность очага и его соматотопические свойства, если очаг помещается в одной из проекционных систем центральной нервной системы. Далее, при

данной топике направление русла явлений связано со *знаком и характером* очага. Он может обусловить в одних случаях *гиподинамические* явления: угнетение, гипофункцию и полное выпадение; в других случаях он может дать картину *гипердинамии,* выражающейся либо в количественной ирритации органа, его гиперфункции, либо также в привходящих качественных извращениях. Дальнейшие осложнения потока явлений обусловливаются характером *взаимоотношений очага с другими органами* и системами мозга. Он может оказать то или иное (возбуждающее или угнетающее) влияние на топически смежные с ним отделы мозга, как пожар, перебрасывающийся на соседние здания, или на отделы системно смежные, обладающие с пострадавшим отделом синаптическими связями через проводящие пути и могущие территориально отстоять очень далеко от него. Наконец, обращаясь к координате *времени*, мы должны учесть влияние на картину явлений еще степени *динамичности* очага (единовременная асептическая травма без последующего процесса, медленно развивающаяся гумма, горячий, бурно разрастающийся абсцесс и т.д.) и его свежести или давности, т.е. того, насколько далеко успели развиться процессы компенсации и викарного замещения выпавших отправлений. Во всем этом хаосе причинных зависимостей, осложненном еще тем, что каждый из этажей и уровней центральной нервной системы, несомненно, несколько по-своему реагирует на эти причины и влияния, не так легко установить какой-либо систематизирующий порядок.

Стремясь получить в качестве признаков явления с максимальной уровневой избирательностью, мы должны учесть еще одну переменную — *местонахождение очага на протяжении рефлекторного кольца.* Если исключить поражения периферических смешанных нервов, ведущие к выпадению *концевого исполнительного органа, а не двигательной функции*, то, схематически говоря, останутся пять возможных локализаций поражения на рефлекторном кольце данного уровня (рис. 95): 1) центральный афферентный путь (в спинном мозгу); 2) сензорное (афферентационное) ядро уровня; 3) центральные замыкательные системы; 4) эффекторное ядро уровня; 5) эффекторный цереброспинальный путь.

Общий принцип зависимости явлений от места на протяжении кольца может быть выражен таким правилом. Чем очаг поражения ниже (ближе к периферии), тем отчетливее проявляется избирательность нарушений по отношению к периферическому органу или области тела и тем она слабее выражена по отношению к контингенту нарушающихся движений. Справедливо и обратное положение: чем выше (центральнее) локализован болезненный очаг, тем нарушения избирательнее по отношению к контингентам движений и тем они обобщеннее по отношению к периферическим органам.

Так, например, поражения в пункте *1* (см. рис. 95) охватывают всю первичную, сырую сигнализацию данного периферического рецептора до ее переработки и синтеза в сензорные поля совместно с другими рецепторными качествами. А участвует эта первичная сигнализация почти во всех полях координационных уровней, поэтому и нарушение движений происходит почти по всем уровням, лишая признак выпадения какой бы то ни было избирательности. Так создается, например, синдром табетической атаксии в результате перерождения задних столбов спинного мозга, несущих в норме всю проприоцептивную и почти всю осязательно-болевую сензорную сигнализацию. С обоими этими рецепторными качествами, как это было показано в гл. III—V, интимно связаны уровни *A, B* и *C*, откуда и

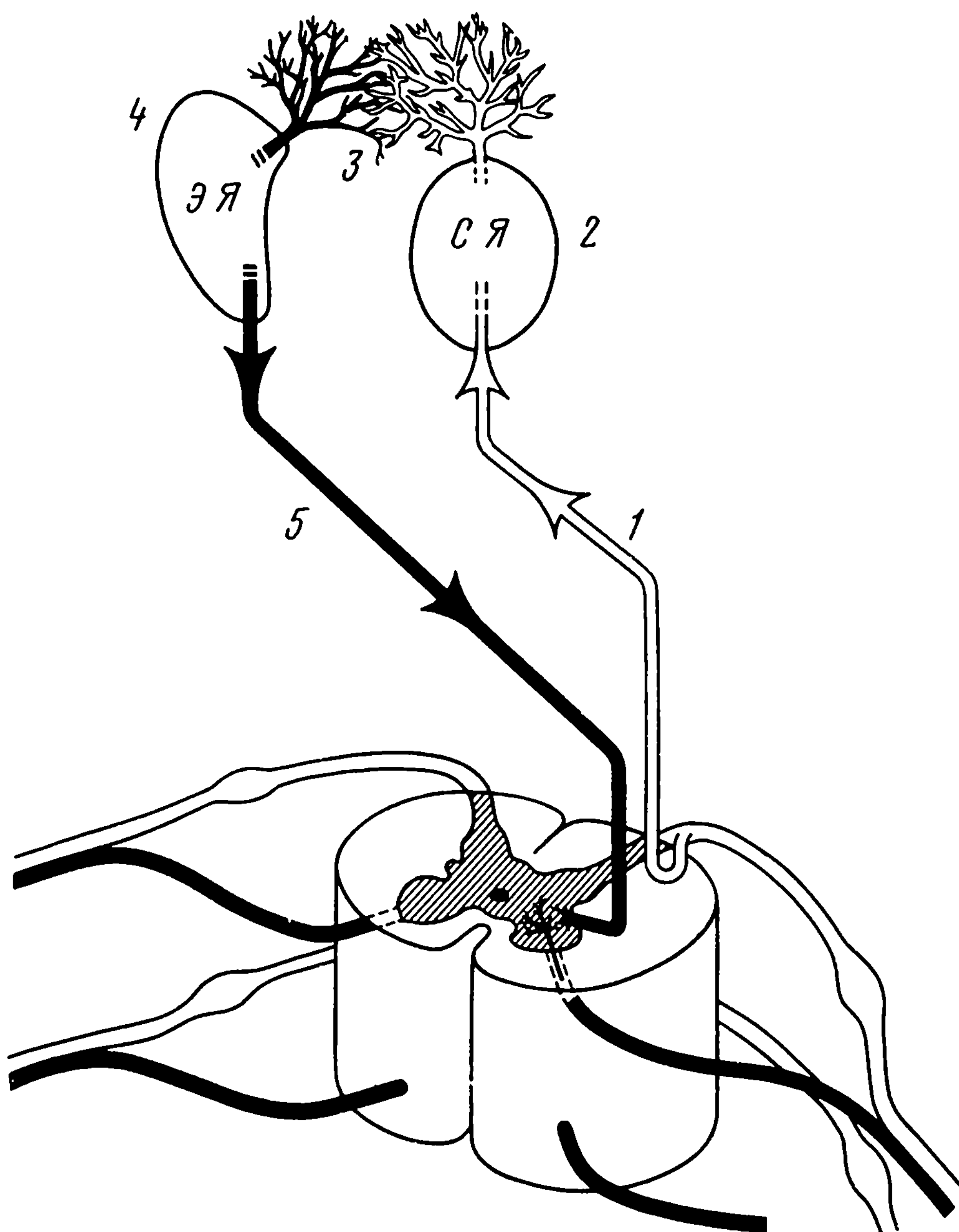


Рис. 95. Схема пяти возможных пунктов поражения на протяжении рефлекторного кольца

получается весь широко известный комплекс заднестолбовой атаксии. По подуровню *C2* (идя сверху) получается распад пространственной точности движений, меткости попадания, дозировки целевого усилия и т.д. По линии подуровня *C1* создается расстройство локомоций и всех тех движений ощупывания и обвода, которые были причислены к этому подуровню в гл. V. От выпадения кооперации того же подуровня *C1* с уровнем *A* возникает расстройство равновесия, астазия (симптом Rhomberg). Таламо-паллидарный уровень синергий, особенно тесно связанный с проприоцепторикой, откликается на выключение ее сигналов распадом того владения реактивной динамикой, которое составляет его сильную сторону в норме; утрачивается какая бы то ни было возможность динамически устойчивых движений. Наконец, выключение уровня *A* самого по себе создает уже упоминавшиеся в гл. III проявления его гипофункции: интенционный тремор как выпадение реципрокной иннервации и денервации, гипотония как выпадение рифлекторной тонизации и гиперметрия как разрушение механизмов своевременного поочередного включения антагонистов при циклических движениях. Если еще прибавить к этому деавтоматизацию движений во всех уровнях, особенно в предметном уровне *D*, обусловленную разрушением всех фонов, опиравшихся на проприоцепторику, то общая картина двигательного расстройства, не теряя ничего в своей характерности, оказывается действительно огульной по отношению почти ко всем без исключения видам двигательных актов.

Столь же всеобъемлющими по охвату разрушающихся движений являются и поражения *спинальных эффекторных невронов*, например пирамидного неврона (к чему мы еще вернемся ниже с другой точки зрения), создающие зато при прекращении проводимости этих невронов недосягаемость совершенно определенных и резко отграниченных мышечных групп для эффекторных импульсов самого разнообразного происхождения и состава, исходящих от всех кортикальных уровней.

Таким образом, уровневая избирательность симптомов имеет место, как правило, только при очагах, локализованных на рефлекторном кольце в пунктах *2—4* (см. рис. 95).

Наиболее четкие формы избирательных нарушений возникают при местонахождении очагов в центральных афферентационных ядрах (*2*). Нарушения представляют собой в этих случаях *расстройства в смысловой структуре* или содер-

жании двигательных актов данного уровня, т.е. в их наиболее существенных и трудно возместимых сторонах. Здесь может быть отмечена одна характерная зависимость между *высотой* пораженного уровня построения и *восстановимостью* пострадавших движений.

Чем ниже в иерархии уровней стоит пораженный уровень, *тем труднее* возмещение ущербов, связанных *с нарушениями в области двигательного состава*, и, *наоборот, тем легче* возмещение тех ущербов, которые обусловлены *нарушениями в области смысловой структуры движений.* Для верхних уровней справедливо обратное утверждение.

Для пояснения этого положения нужно принять в расчет, что смысловая структура всегда полностью обеспечивается ведущим уровнем данного движения. Возместить движение, утраченное вследствие выбытия из строя его ведущего уровня *P*, — значит суметь воспроизвести *на вышележащих уровнях* смысловую структуру выпавшего движения. Чем выше разрушенный уровень, тем меньше остается над ним ресурсов для такого суррогатного воспроизведения и, наоборот, тем больше имеется книзу от него уцелевших уровней, пригодных в той или иной мере для возмещения его фонового двигательного состава. Наоборот, воспроизведение несложной смысловой структуры движений, посильных низовым уровням, стушевывается по трудности перед гораздо тяжелее вознаградимыми потерями со стороны двигательного состава, сопровождающими разрушение низовых уровней, мало пластичных и в то же время высоко специфичных по качеству и составу своих коррекций.

Необходимо пояснить, в чем отличия нарушений смысловой структуры от нарушений двигательного состава. Нарушение смысловой структуры выражается в неадекватности осуществленного двигательного решения смыслу поставленной перед пациентом задачи независимо от того, понимает ли субъект неудовлетворительность своего решения или нет. Решение, не достигающее или плохо достигающее требуемого результата из-за моторных, координационных дефектов, но не искажающее смысла возникшей задачи, есть случай нарушения двигательного состава при интактности смысловой структуры. В действительности, к сожалению, далеко не всегда легко распознать, с которым из двух дефектов мы имеем дело. Наиболее отчетливо разграничиваются между собой обе формы при расстройствах выполнения смысловых цепей в уровне действий *D*.

После сделанных ограничений и оговорок мы можем подойти непосредственно к патогномоническим признакам уровней, естественным образом группирующимся в два разряда. К первому из них мы отнесем явления *гиподинамии,* т.е. понижения функции, начиная с явлений ее полного выпадения и кончая явлениями сбиваемости, т.е. пригодности нервного аппарата для вполне нормальных отправлений, но не иначе, как при условии особой бережности к нему, устранения каких бы то ни было помех или осложнений, уже разрушительных для функции с такой повышенной ранимостью. На противоположном полюсе окажутся явления *гипердинамического* порядка, обусловливаемые перевозбужденным состоянием заболевшего или вторично втянутого в болезненный синдром центра. К этому гипердинамическому разряду отойдут прежде всего количественные проявления ирритации, сказывающиеся в виде повышения возбудимости или же увеличения размаха, быстроты, силы движений и т.п. Гипердинамическое состояние уровня может проявиться затем в виде перепроизводства спонтанных движений,

лишних по существу, т.е. не решающих никакой задачи и лишенных целесообразной законченности в их двигательном составе: это будут *гиперкинезы* всяких видов, включая одну из их частых разновидностей — треморы. Если лишние движения возникают не сукцесивно, а симультанно, то они превращаются в *синкинезии,* отличаемые нами от синергий и синдинамий или содружественных движений (соответственно напряжений) именно по их ненужности. Статистической разновидностью синкинезий являются всякого рода непроизвольные иррадиированные перенапряжения, как тонические, так и тетанические, вроде, например, известного risus sardonicus при тетании. Наконец, очень частой разновидностью гипердинамических проявлений, дающей, особенно для более высоких уровней, ряд очень выигрышных избирательных признаков, являются *гипердинамические персеверации* движений, т.е. потеря возможности прекратить по произволу раз начавшийся в двигательной сфере процесс. Наиболее четкие признаки доставляются по преимуществу явлениями выпадения и персеверации. Начнем с первых.

Каждый ограниченный очаг, вызывающий выбытие из строя субстратов одного определенного уровня, обусловливает довольно сложную комплексную картину *избирательного выпадения движений.* В сплошном массиве движений, доступных здоровой норме, создаются пробелы, области невыполнимых двигательных отправлений на фоне других, выполнимых как и прежде, или же пострадавших частичным, но вполне определенным образом. Очередной задачей является составление такой *сетки типических комбинаций* двигательных пробелов, патогномоничных для поражений последовательных уровней, которая обеспечила бы возможность их безошибочного определения.

При полном выбытии из строя уровня P те движения, которые велись на самом этом уровне, избирательно выпадают совсем, поскольку выпадают обеспечивающие их у данной особи афферентации. Движения более высоких уровней нарушаются частично, *деавтоматизируются* в большей или меньшей мере в зависимости от того, входил ли выпавший уровень в их фоновый уровневый состав. Очевидно, качественная картина деавтоматизации двигательных актов верхних уровней является в высшей степени характерной для выпавшего уровня. Движения уровней, лежащих ниже *P*, могут испытывать после его выпадения *нарушения двоякого рода.* С одной стороны, если субъект успел выработать в этих низовых уровнях автоматизмы для обслуживания двигательных актов уровня *P*, то с выпадением последнего безвозвратно утрачивается возможность их экфории, так как вышележащие уровни ($P+1$), ($P+2$) и т.д., на которых с течением времени начинают формироваться викарные замены для этих выпавших актов, как правило, не обладают ключами для вызывания этих автоматизмов, откликавшихся только на вызовы своего уровня-заказчика *P*. Низовые уровни, не теряя по этой группе причин каких-либо самостоятельных движений, утрачивают многое из своей деятельности в роли фонов. Кроме того, в целом ряде случаев иерархические взаимоотношения между смежными уровнями в центральной нервной системе таковы, что субстраты вышележащего оказывают специфически притормаживающее действие на эффекторы подчиненных им нижележащих. Это-то притормаживающее действие (которое Foerster применительно к влиянию striati на pallidum называет *обуздыванием* последнего) и снимается с выпадением выполнявшего его уровня. Следствием этого оказывается своеобразная форма гипердинамии, в которую впадает высвободившийся низовой уровень и которую уместно было бы,

используя метафору Foerster, назвать разнуздыванием, *эффренацией.* Такая эффренация имеет место, например, в рубро-спинальном уровне *А* при паркинсоническом угнетении pallidi или в нем же и в то же время в клетках передних рогов спинного мозга — при выпадении пирамидной системы вследствие капсулярной гемиплегии и т.п.

Нельзя не отметить, что по крайней мере в некоторых случаях или у некоторых видов движений (сейчас еще крайне трудно определить необходимые и достаточные свойства этих случаев и видов) все же возможно переключение экфорируемости хотя бы важнейших из исполнительных фонов на уцелевший вышележащий уровень, берущий на себя восстановительные функции для выпавших движений и способный в некоторой мере усыновить их вместе с их фонами. Иногда такое восстановительное переключение легко достигается простым изменением формулировки двигательного задания. Пациент не может поднять по приказанию руку до высоты лба, но тут же легко выполняет именно это движение в ответ на предложение снять (хотя бы воображаемый) головной убор или отдать воинское приветствие. А. Лурия предлагает премоторному больному начертить на бумаге ломаную линию такого вида:



и т.д. Обнаружив его полную несостоятельность, экспериментатор видоизменяет задание, добавив к указанной ломаной линии две лишние черточки.



и движение в тот же момент становится возможным. Число примеров можно было бы легко умножить.

Обращаясь к явлениям, сопровождающим очаговые поражения по пунктам *2, 3* и *4* (см. рис. 95) применительно к каждому из уровней построения поочередно, мы первом делом исключим из детального рассмотрения центральные проводниковые поражения по пункту *3.* Как всякие явления проводниковых поражений вообще, они очень близки к явлениям поражения соответствующих им ганглиозных ядер, но только *грубее, четче и беспримеснее* последних. Очевидно, проводниковые поражения могут вызывать только: а) альтернативные, избирательные *выпадения* и b) синдромы *растормаживания,* эффренации иерархически низших центров, и не в состоянии обусловить явлений гипердинамии самого пораженного этажа. Ничего нового в смысле избирательно-специфических уровневых симптомов по сравнению с тем, что может быть сказано по поводу очагов в центральных клеточных ядрах, эти проводниковые поражения как будто не дают.

Выпадение *афферентационных систем рубро-спинального уровня А* приводят к картине, очень близкой к известному "мозжечковому синдрому" Luciani—Орбели. На первом месте здесь стоит резкая *гипотония*, сопровождаемая *нарушениями рефлекторной регуляции тонуса.* Распад того, что мы выше (см. гл. V) характеризовали как примитивный синтез пространства уровня *А*, т.е. вестибулярно(отолитно)-управляемого *тропизма верха и низа*, приводит к потере равно-

весия при стоянии (*астазия*), а в случаях ирритации пораженных центров — к опрокидываниям, манежным движениям и т.п. Выпадение важнейших компонент проприоцептивной сигнализации создает явления общего, разлитого нарушения координации, атаксии, поскольку выпадение фонов из *А* грубо деавтоматизирует движения всех вышележащих уровней. Наконец, подчеркнутая уже в гл. III тесная связь субстратов уровня *А* с вегетативной нервной системой, общение которой с центральной нервной системой почти полностью осуществляется именно через субстраты этого уровня, ведет в результате разрушения афферентаций уровня *А* еще и к ряду вегетативных расстройств. В области нервно-мышечного двигательного аппарата это разрушение приносит с собой выпадение так называемой адаптационно-трофической функции sympathici, создавая как общую двигательную разлаженность работы нервно-мышечной периферии, так и ее быструю истощаемость, вялость и т.п., словом, то, что обобщается термином "мышечная *астения*".

Выпадение *эффекторной системы* уровня *А*, т.е. того, что было обозначено в гл. III как группа красного ядра, прекращает поток импульсов по обоим главным экстрапирамидным эффекторным трактам спинного мозга — руброспинальному и вестибуло-спинальному путям. Клетки передних рогов спинного мозга, остающиеся под воздействием импульсации одних только пирамидных невронов, откликаются на это явлениями *общего тонического угнетения* соответствующих мотоневронов. Ниже мы увидим, что в отношении тонуса роли пирамидного и экстрапирамидного трактов спинного мозга взаимно антагонистичны и пирамидный неврон оказывает в этом дуэте тормозящее действие. Таким образом, возникает симптом *гипотонии* с особенно значительным падением эластической составляющей тонуса. Дальнейшие явления, характерные для выпадения эффекторной импульсации группы красного ядра: нарушение субординационной регуляции, интенционный тремор как прямое его следствие, гиперметрия, часто наблюдающаяся переразгибаемость суставов и т.д. — были уже перечислены в заключительной части гл. III.

Точно так же не придется задерживаться здесь и на синдроме, сопровождающем *гипердинамические состояния* группы красного ядра. Кратко можно сказать, что возникающие явления составляют половину характерных симптомов комплекса паркинсонизма: присущие последнему нарушения осанки и позы, каталептоидность, т.е. наклонность к застыванию в спонтанно принятой или искусственно приданной позе, общая вязкая (ригидная) *гипертония*, тремор покоя (так называемое кручение пилюль), *гипометрия* движений, т.е. недотягивание до требуемой цели. Вторая половина симптомов паркинсонизма связана с гиподинамией таламо-паллидарного уровня *В*, о чем скажем ниже.

Гипердинамические состояния системы красного ядра чаще всего возникают в порядке эффренации, т.е. растормаживания в результате выпадения регуляции сверху; так, в частности, происходит и при паркинсонизме.

Поражение *центрального афферентационного ядра таламо-паллидарного уровня В* — зрительного бугра, неминуемого посредника-передатчика всей проприо- и тангорецепторики как к уровню *В*, так и ко всем выше его лежащим уровням, ведете к настолько резким и всеобъемлющим нарушениям координаций, что может быть определено как полный развал всей двигательной сферы. *Умеренные гиподинамические синдромы,* исходящие из thalamus, дают прежде всего расстройства

того, что было обозначено в гл. IV как "триада" самостоятельных движений уровня синергий: *выразительной моторики* мимики, пантомимы и пластики. Наступает более или менее глубокая асинергия или диссинергия, т.е. разрушение глобальных экстрапирамидных движений и, что гораздо важнее в общем балансе моторики человека, *экстрапирамидных фонов,* характер и значимость которых для движений уровней *C* и *D* были подробно освещены в гл. IV—VI. Сравнительно меньше страдают бесфоновые движения верхних уровней: мелкие пальцевые движения из уровня пространственного поля *C* и некоторые из элементарных цепей предметного уровня *D*: ориентировочные движения, простейшее самообслуживание, воспроизведение ритмов постукиванием и т.п. Из области речедвигательных проявлений нарушается не столько речь, сколько голос, интонация, выразительная компонента; впрочем, разрушение синергетических фонов может легко привести и к невнятности, шепелявости, гнусавости речи и т.п. Тесная связь таламической системы с болевой чувствительностью ведет к возникновению еще целого ряда болезненных и иногда очень мучительных для больного симптомов, но мы не будем касаться их, как не имеющих прямого отношения к моторной сфере.

Однако возможность тяжелых и разнообразных болевых ощущений (например, гиперпатии), встречающихся при заболеваниях thalami, побуждает упомянуть здесь, что *ощущения боли*, все равно, периферического или центрального происхождения, если они появляются при определенных позах или элементах движений, *создают особый класс коррекций,* который можно назвать *анталгическими*, или противоболевыми, коррекциями. Этого рода коррекции, к которым пациент непроизвольно, почти рефлекторно, прибегает, оберегая свой больной орган от болевых ощущений, способны очень сильно искажать правильную координацию, создавая иногда у наблюдающего ложное впечатление о наличии органических координационных нарушений. Распознать анталгические нарушения и отличить их от истинных расстройств координации возможно (даже не прибегая к показаниям больного, которые могут быть недостаточно объективными) по тому признаку, что, точно выполняя правило об огульности периферических нарушений к контингентам движений и избирательности их к периферическому органу, анталгические коррекции легко выдают свою точную периферическую локализацию, обладая в то же время легкой дифференцируемостью от органических периферических нарушений подвижности или двигательной активности. *Диффузные* боли центрального происхождения не могут, конечно, приводить к какимлибо регулярным картинам анталгических коррекций.

Болезненные очаги в *эффекторном ядре* уровня синергий — pallidum — дают в преобладающем числе случаев синдромы гиподинамии. Выпадение отправлений pallidi дает вторую половину симптоматики паркинсонизма: общую асинергию, амимию как одно из проявлений разрушения "триады", скованную бедность и скупость движений, смену их ритмической плавности на скандированность и угловатость. Выпадают навыки динамически устойчивых движений и их фонов; в циклограмметрических кривых исчезают противозначные "переливы" напряжений, заменяясь характерной для гипертонической скованности однозначностью по типу первой стадии развития навыка (гл. VIII). Как уже упоминалось раньше, расстраиваются ритмизирующие фоновые перешифровки для движений уровня пространственного поля. Резко падает, наконец, процент непроизвольных движений и

компонент; произвольные же совершаются очень скупо в связи с ослаблением инициативы. Часто встречаются и персеверативные осложнения — пропульсии, ретропульсии, уже упоминавшаяся "персеверация позы" — каталептоидность и т.д. Для большей ясности изложения мы перенесем описание персеверативных явлений по всем уровням в особый общий раздел ближе к концу этой главы.

Гипердинамические формы импульсаций pallidi обычно принадлежат к эфферентационному типу и обязаны своим возникновением выпадению тормозящего, обуздывающего действия striati. Эти формы очень разнообразны, но еще сравнительно мало изучены. Здесь встречается во всем своем богатстве полное содержание каталога гипердинамических проявлений: и гиперкинезы, и синкинезии, и персеверации, и бесчисленные виды навязчивых движений. За вычетом динамически устойчивых форм и штампов, которые не могут сформироваться вне нормальных условий упражнения и повторительности, весь остальной арсенал двигательных возможностей таламо-паллидарного уровня проявляется в этих гипердинамических эффектах как непреоборимые, уродливые синергетические слепки или обломки движений. Мы не будем анализировать здесь ближе дифференциально-диагностических различий между синдромами атетоза, хореи, торзионного спазма и др., которые все сводятся в своей основе к явлениям гипердинамии pallidi (см. рис. 33); укажем здесь только, что наблюдаемые в этой группе синдромов различия клинических картин зависят в большей мере от взаимоотношений основного факта — перевозбуждения pallidi — с дисфункциями других, смежных уровней, нежели от различий в патофизиологическом характере самого этого перевозбуждения. Так, например, синдром атетоза связан с гипердинамическим состоянием рубро-спинального уровня, а синдром хореи — с нормальным или даже с гиподинамическим; в картину торзионного спазма входят наряду с перевозбуждением pallidi еще и явления общего разлитого гипердинамического состояния всей экстрапирамидной эффекторной системы и т.д.

Деафферентация уровня пространственного поля С вряд ли возможна при каких бы то ни было обстоятельствах в чистом виде. Мы так и не знаем пока, существуют ли где-либо в коре концентрированные участки, которые можно было бы считать "центрами" сензорного синтеза пространственного поля; выключения же как первичных, так и вторичных кортикальных полей отдельных видов чувствительности дают всегда картины изолированных выпадений этих сензорных качеств, зачастую еще с соматотопической ограниченностью дефекта. Наконец, более или менее суммарный выход из строя важнейших сензорных компонент "пространственного поля" вследствие перерыва где-либо ниже коры: в системе зрительного бугра или проводящих путей спинного мозга, приводит, как уже упоминалось, к поражению целого ряда уровней, начиная с *В* или даже с *А*. Очень вероятно, что постоянный до настоящего времени неуспех поисков синтетического центра "пространственного поля" в коре (как бы его ни называть) обусловлен *очень высокой компенсируемостью* одних компонент пространственного поля другими, чем и объясняется упомянутая выше неосуществимость выключения этого синтеза в целом и притом в чистом, изолированном виде. Расстройства восприятия и осмысления пространства, называемые астереогнозами и имеющие определенные известные локализации в коре головного мозга, являются (поскольку это уже "гнозы") нарушениями смыслового, топологического восприятия пространства в уровне действий *D* и поэтому сюда не относятся.

Если идти не от очагов (которых для данного случая не удается указать), а от координационных выпадений, то можно, наоборот, очень легко охарактеризовать, что следует отнести за счет уровня *C* в сложных формах координационных нарушений, так или иначе вызываемых расстройствами пространствообразующих афферентаций. Все компоненты этого рода входят в синдромы различных разновидностей *атаксии.* От уровня пространственного поля в эти синдромы входят потери точности и меткости движений, их силовой дозировки, управления своевременностью включения, скоростью и темпом движений по верхнему подуровню *C2* и нарушения общего "владения пространством", сказывающиеся в распаде локомоций, по нижнему подуровню. Поскольку на долю уровня пространственного поля выпадает наибольшая часть точных и мелких ручных целевых манипуляций (в виде либо самодовлеющих движений, либо автоматизмов для уровня *D*), постольку именно к его афферентационным, атактическим нарушениям вернее всего подходит ощущение пациента, что "руки его не слушаются". Эта непослушность рук может, но не обязана сопровождаться тем или иным их тремором, являющимся всегда уже привходящим, фоновым образованием в нижележащем уровне *A.* "Непослушность руки" и как своеобразное ощущение, и как объективный факт, резко снижающий качество и темповую продуктивность точных движений, обязательно сопровождает тактильно-проприоцептивную деффферентацию руки любого происхождения, так что в умеренном и скоропреходящем варианте хорошо знакома каждому, имеющему дело с точными работами, как следствие отлаженности, заспанности, переохлаждения руки и т.п.

Выпадения *в эффекторном разделе уровня C* нуждаются уже в целой классификации. *Гиподинамии* striati, сопровождающиеся разнуздыванием таламо-паллидарной системы, были уже упомянуты выше. *Выпадения пирамидного звена* дают, как известно, существенно разные явления в зависимости от того, вовлекаются ли в поражение одни только гигантопирамидальные невроны Беца (например, при гемиплегиях за счет кровоизлияний в белом веществе capsulae internae мозга) или вся пирамидная кора в целом со всеми ее слоями (например, при огнестрельных ранениях, абсцессах и т.п.).

Уже было упомянуто, что пирамидный неврон и экстрапирамидные невроны рубро-спинального (и вестибуло-спинального) тракта оказывают на клетки передних рогов спинного мозга взаимно противоположное действие *по части тонуса.* Точнее этот антагонизм может быть сформулирован так: *импульсация группы красного ядра повышает все виды тонуса, как упругий, так и вязкий; пирамидная импульсация оказывает угнетающее, тормозное действие преимущественно на упругий тонус, оставаясь нейтральной к вязкому.*

В норме взаимно противоположные влияния рубро-спинальной и пирамидной системы дополняют и уравновешивают друг друга. *Выпадение пирамидного неврона,* угнетавшего эластическую составляющую тонуса, приводит сразу к эффренационному повышению этой составляющей — к эластической, или, как ее чаще называют, *спастической, гипертонии,* постоянно сопровождающей описываемую сейчас капсулярную гемиплегию. Очень характерно, что подскок эластического тонуса, создаваемый перевесом *непострадавшего* красного ядра, не растекается с обезличенно-одинаковой силой по всем мышцам, а сохраняет всю субординационную физиономию, свойственную рубро-спинальному уровню. У человека гемиплегическая гипертония поражает избирательным порядком: на руке —

флексоры, на ноге — экстензоры (так называемая поза Wernicke—Mann) — те самые мышечные системы, которые в норме характеризуются более короткой субординационной хронаксией, т.е. более высокой возбудимостью.

Описываемая эластическая гипертония часто сопутствуется еще особым, упругим, видом *тремора* — так называемым *клонусом*, реактивно возникающим как своеобразная персеверация сухожильного рефлекса на гипертонизированных мышечных группах.

Интересно, что другой вариант перевеса группы красного ядра над пирамидной системой — случай, когда эта последняя работает нормально, но зато рубро-спинальный уровень находится в состоянии перевозбуждения, например паркинсонический синдром, приводит опять-таки к *гипертонии*, но носящей уже совершенно иной характер. Группа красного ядра в своем перевозбуждении стремится повысить все виды тонуса, но нормально работающая пирамидная система препятствует этому в отношении эластического тонуса, и рубро-спинальному уровню ничего не остается, как повышать одну только вязкую, ригидную составляющую. Общая разлитая гипердинамия приводит на этот раз к такому же общему и разлитому подъему *вязкого тонуса*, уже не делающему различий между агонистами и антагонистами, как это хорошо известно по поводу картины паркинсонической ригидности.

Попутно упомянем, что теперь мы дошли и до рационального объяснения *гипотонии, сопровождающей выпадение функции уровня А*. Эта гипотония, сопровождающаяся преимущественно упадком эластической компоненты, обусловливается угнетающим действием именно на эту компоненту пирамидного неврона, не встречающего более противодействия со стороны выпавшего n. rubri.

Выпадения подуровня *С2*, вызываемые капсулярными перерывами пирамидного пути, в большой мере маскируются и заглушаются охарактеризованными выше грубыми расстройствами тонуса и выпадением (в начальных стадиях) всей произвольной моторики, присущими гемиплегии. В процессе последующих приспособительных компенсаций с приближением конечной или резидуальной стадии, когда полупаралич переходит в гемипарез, избирательные выпадения проступают яснее. Вся полунепроизвольная моторика уровня синергий *В* постепенно восставливается, поскольку ей не препятствуют паретические состояния мышц; двигательные акты из уровня действий, имеюшего и в норме выход на экстрапирамидную эффекторную систему наряду с пирамидной системой, мало-помалу возрождаются, переключая на экстрапирамидную эффекторную систему и некоторые из фоновых координаций, ранее совершавшихся на пирамидном подуровне. Разумеется, с восстановлением мелких точных движений дело обстоит хуже. Заслуживает внимания, что вполне непроизвольные чисто экстрапирамидные движения нередко оказываются возможными даже в начальных стадиях глубокого паралича конечности.

По мере развития восстановительных компенсаций процент произвольных движений больной стороны в общем моторном обиходе пациента все возрастает, и сглаживание дефекта может под конец зайти у человека очень далеко. У млекопитающих, даже у обезьян, вследствие меньшего у них удельного веса пирамидной эффекторной системы по сравнению с экстрапирамидной эффекторной системой экспериментальные перерезки пирамидного пути, как правило, дают довольно быстрое и абсолютно полное восстановление движений

исключительно за счет компенсаций, так как сам пирамидный путь никогда не регенерирует.

Отличия пирамидных расстройств, вызываемых *кортикальными очагами*, от вышеописанных капсулярных приводят к необходимости нескольких обобщенных замечаний об особенностях явлений при очагах в кортикальных эффекторных центрах. Прежде всего нужно отметить, что в то время, как чисто афферентационные ядра, вне всякого сомнения, встречаются и в коре, и под корой больших полушарий, все так называемые эффекторные кортикальные поля относятся к числу образований смешанных, содержащих клетки как центробежных, так и центростремительных невронов. Может быть, это является одной из причин менее четких и выразительных явлений координационного выпадения при очагах в этих пунктах по сравнению с афферентационными ядрами. Отметим следующие факты.

Поражения в эффекторном центре обусловливают нарушения *всегда в двигательном составе* моторного акта, лишь редко и отраженно задевая его смысловую структуру. Нарушения по линии двигательного состава затрагивают либо те движения и их компоненты, которые прямо связаны с самим пораженным уровнем, либо те двигательные компоненты из фоновых уровней, которые в норме экфорируются, вызываются к действию данным эффекторным ядром пострадавшего уровня. Так, например, очаговые поражения премоторных полей коры, являющихся эффекторными центрами уровня действий *D*, не вызывая никаких параличей или нарушений элементарной активной подвижности, дают картину резкого и обобщенного расстройства фонового двигательного состава действий, т.е. их деавтоматизацию, при сравнительной сохранности их смысловой структуры, что так характерно для кинетических апраксий Kleist. Так называемая моторная афазия (двигательное расстройство речи), связанная с анатомическим очагом в левом полушарии, в поле Broca, представляет полную гомологию с только что упомянутым синдромом. При моторной афазии нет ни параличей мышц языка и гортани, ни снижения объема, силы, скорости, даже точности движений языка; целы и все произвольные движения языка, и акты жевания, глотания, сплевывания и т.д., а артикуляция речевых звуков утрачивается, т.е. выпадают *все речевые фоновые автоматизмы*. При очагах *в пирамидном поле коры*, характеристика которых как раз и вызвала необходимость в этом обобщающем отступлении, явления расстройства движений включают как пирамидные, так и экстрапирамидные симптомы, что, несомненно, говорит о наличии у пирамидного подуровня в норме экстрапирамидных фонов, возможность экфории которых по вызовам с пирамидной коры пропадает при возникающих в ней очагах. Эта смесь пирамидных и экстрапирамидных симптомов представляет собой одно из выразительных отличий кортикальной гемиплегии от проводниковой, капсулярной. Другим подтверждением этого же факта смеси фонов может служить то, что кортикальные гемиплегии очень часто не связаны со спастической гипертонией. В то время как при капсулярной гемиплегии выпадает одна только пирамидная слагающая, так что рубральная, освободясь от угнетающего антагониста, может в полной мере развернуть картину гипертонии, при кортикальном очаге впадают в гиподинамическое состояние оба антагониста, как пирамидный, так и экстрапирамидный, вследствие чего ни у одного из них не может возникнуть ощутимого перевеса.

По поводу деавтоматизаций, обязанных своим возникновением нарушению эк-

фории вследствие очага в эффекторном центре, следует сказать, что есть очень удобный путь для отличия деавтоматизаций, вызванных распадом какого-либо фонового уровня, от деавтоматизаций, обусловленных нарушением экфории из эффектора ведущего уровня. При разрушении какого-либо фонового уровня *P* (например, уровня синергий при дрожательном параличе) деавтоматизация постигает двигательные акты *всех* выше его лежащих уровней ($P+1$), ($P+2$) и т.д., но при этом *только те* из них, которые обладали фонами из выпавшего уровня *P*. Если же деавтоматизация возникла вследствие разрушения центра — "экфоратора", то она постигает *только* двигательные акты одного этого ведущего уровня *P*, но зато по отношению к фоновым автоматизмам *всех* нижележащих уровней ($P-1$), ($P-2$) и т.д.

По поводу очагов *в эффекторных центрах* следует сказать, что для таких очагов характерна обычно *более значительная степень соматотопичности* нарушений, т.е. их отнесенности к более или менее ограниченной области на периферии тела (рука, язык и т.п.), нежели для поражений в афферентационных центрах. Если вспомнить правило зависимости явлений от пункта поражения на протяжении рефлекторного кольца, то можно отметить, что эффекторное ядро каждого из координационных рефлекторных колец (начиная с *C1* кверху) располагается как бы ниже, ближе к периферии тела, нежели соответственное афферентационное.

Особенность эффекторных центров по сравнению с проводниками — их способность создавать при очагах явления гипердинамии уже была принята нами в расчет с самого начала поуровневых характеристик синдромов.

Явления очаговых нарушений в двигательной сфере, обусловливаемые поражениями субстратов *уровня действий D*, были уже указаны в гл. VI, посвященной характеристике этого уровня. Резюмируя, скажем, что болезненные очаги в кортикальных полях, связанных с этим уровнем, дают клинику *апрактических расстройств* с их основным подразделением на группы: 1) афферентационные, или гностические (Liepmann), и 2) эффекторные, иначе кинетические, или премоторные, апраксии (Kleist). Обе группы относятся к разряду гиподинамических нарушений с характером выпадения. Картины перевозбуждения, гипердинамии в премоторной системе, кроме кратковременных состояний ирритации, встречающихся в первые дни после ранения или операционной травмы и большей частью мало выразительных вследствие их иррадиированности, оформляются уже не как апраксии, а как навязчивые гиперкинезы персеверативного типа. О своеобразных сочетаниях гипо- и гипердинамических явлений, какими являются *персеверации*, как раз в этом уровне очень частые и характерные, будет сказано при описании персевераций по всем уровням, к которому и переходим.

Персеверация — это утрата возможности прекратить по произволу раз начавшийся в двигательной сфере процесс, когда смысловая сторона задачи уже исчерпана и не требует более его продолжения. Мотивы как начала, так и завершения двигательного процесса в норме всегда содержатся в афферентации его ведущего уровня. Персеверация возникает тогда, когда перестает действовать сигнализация от ведущей афферентации к эффекторным приборам уровня, выключающая процесс за его смысловым исчерпанием. Это может случиться: 1) либо потому, что перестал работать сам афферентационный механизм концевого выключения, 2) либо потому, что концевая выключительная сигнализа-

ция существует, но не в состоянии преодолеть инерцию гипердинамически разогнавшегося эффекторного процесса. В обоих случаях эффекторы и экфораторы ведущего уровня, упорствуя, продолжают работать, фоновый двигательный состав процесса беспрепятственно реализуется, и пациент иногда лишен какой-либо возможности затормозить его.

Исходя из сказанного подразделения, можно обозначить обе разновидности персевераций соответственно как *сензорную*, или гиподинамическую, и *эффекторную*, или гипердинамическую, персеверации; нельзя, впрочем, отрицать существования и смешанных форм.

От персеверации необходимо отличать "защелкивание", или "застревание" (Sperrung). "Застревание" — выход из строя того механизма, который в норме по окончании двигательного акта освобождает общий двигательный путь для реализации следующих актов, как телефонистка отключает абонента, с которым мы кончили говорить, освобождая этим наш телефон для других разговоров. При "застревании" двигательный акт сам по себе не проявляет тенденции к затягиванию, как при персеверации, но все последующие раздражения, на которые он уже не является адекватной реакцией, вызывают его вновь и вновь. Разница между персеверацией и "застреванием" уясняется лучше всего из нижеследующего примера.

Если в ответ на задание начертить крестик пациент заполняет крестиками весь лист бумаги и не может остановиться — это персеверация. Если же, верно исполнив задание нарисовать крест, пациент вслед за тем упорно чертит по крестику в ответ на все последующие задания изобразить круг, квадрат и т.п., то обнаруживаемый им дефект — "застревание". Можно сказать, что персеверация — это нарушение эффективной работы *концевых выключателей* уровня, тогда как "застревание" — выход из строя его *переключающих механизмов.* Явление "застревания" в высших уровнях очень близко подходит к симптому кататонической стереотипии, и в этих случаях, как правило, свидетельствует о более глубоком нарушении психической деятельности, нежели персеверирование.

Персеверации дают много выразительных по их избирательности уровневых признаков, по-видимому, по следующей причине. Как и ранее рассмотренные виды очаговых нарушений, патологические персеверации избирательно захватывают те или другие контингенты самостоятельных или фоновых двигательных отправлений, не задевая прочих; но при этом и сами по себе те своеобразные механизмы концевого выключения, которые перестают действовать при возникновении персевераций, обладают рядом особенностей по различным уровням, отличающихся друг от друга. Можно сказать, что в зависимости от локализации и характера очага пациент персеверирует *и не в том, и не так,* как это было бы при иных очагах. Не приходится скрывать, что в этой области невросемиотики пока имеется еще немало белых пятен.

Идя снизу вверх, как и раньше, мы встречаемся с бесспорным проявлением патологической персеверации в точном значении термина в самих мотоневронах, т.е. ниже всяких церебральных уровней построения. Это *клонусы мышц*, обнаруживающих в норме сухожильные рефлексы: при наличии спастического, гипертонического пареза рефлекторный ответ икроножной мышцы или четырехглавой мышцы бедра на раздражение рецепторов их веретен и сухожилий не исчерпывается однократным сокращением, а развертывается в целую ритмическую

серию, в которой каждое очередное сокращение оказывается на фоне общего перевозбуждения клеток переднего рога достаточным раздражителем для вызова следующего. Это, следовательно, эффекторная персеверация, как мы определили ее выше.

В низовом *рубро-спинальном уровне А* при различных клинических формах могут иметь место персеверации обеих разновидностей. Наблюдаемый почти постоянно в случаях *гиподинамии* уровня красного ядра симптом *гиперметрии* движений, их чрезмерности, перелета через цель, есть несомненное явление персеверативного порядка, возникающее из-за отсутствия своевременного включения останавливающих движение мышц-антагонистов, т.е. из-за ослабления или выпадения миотатического рефлекса растяжения (miotatic или stretch-reflex). Гиперметрический симптом, непосредственно обусловливаемый нарушением проприоцептивной сигнализации, относится, следовательно, к группе сензорных персевераций. Необходимо упомянуть, что этот симптом, очень часто сопутствующий вместе со всем комплексом явлений гиподинамии уровня *А* картине атактического расстройства уровня пространственного поля, обычно ошибочно относят к самому синдрому атаксии; на самом деле он, как и интенционный тремор, является всегда не более как его косвенным, хотя и нередким, фоновым спутником.

Обратная, *гипердинамическая*, фаза рубро-спинального уровня *А* также имеет в числе своих симптомов персеверативные явления. Уже при характеристике патологии уровня *А* в гл. III было сказано, что экстрапирамидная, рубральная ригидность часто переходит в состояния каталептоидной, так называемой восковой гибкости (flexibilitas cerea). Так как поза есть частный случай движения (текущего с нулевыми скоростями точек), то, несомненно, имеющая место в этих случаях невозможность для больного произвольно изменить приданное ему положение тела есть "персеверация позы"; в какие бы клинические синдромы она ни входила, эта форма персеверации всегда точно патогномонична для гипердинамии уровня *А*. Механизмы этой разновидности близки к прямой противоположности с таковыми при гиперметрии: там проприоцептивные рефлекторные отклики на растяжения мышц запаздывают и оказываются слишком слабыми; здесь они же возникают преждевременно, вызывают преувеличенный по силе эффект и "схватывают", как застывающий бетон, любую приданную пациенту позу.

Интересно, что противоположность, которая была выше отмечена между механизмами и характерами гипертонии, возникающей в мотонах: а) за счет выпадения пирамидного звена и б) за счет гипердинамии n. rubri, снова всплывает и здесь, приобретая еще более яркую окраску качественного различия. Тот же по сути механизм сухожильного проприоцептивного рефлекса, появляющегося в ответ на раздражение сухожильных чувствительных окончаний растяжением, попадая на повышенную *эластичность* мышц, при низких показателях вязкости оформляет персеверацию в виде *клонического*, упругоколебательного процесса; сталкиваясь же с преимущественным повышением вязкости (эластичности не дает нарастать сохранившееся воздействие пирамидного неврона), превращающим мышцу в подобие теста, этот же механизм приводит к *тоническому* варианту персеверации, говоря языком механики, к своего рода сверхзатухающему колебанию.

Очень характерным феноменом типа "застревания" является в уровне *А* так называемый рефлекс схватывания (forced grasping). При малейшем раздражении кожи

ладони рука пациента сжимается в кулак, и ему самому никакими усилиями воли не удается разжать своих пальцев. Наиболее интересным явлением, точнее всего доказывающим принадлежность этого феномена к классу "застревания", оказывается то, что всевозможные другие тактильные раздражения, к какой бы точке тела они не были приложены и какого бы качества ни были, все только усиливают раз возникший хватательный рефлекс, ставший настоящей доминантой и перехватывающий на себя возбудительную силу всех этих раздражений.

В *уровне синергий В* как ведущем очень трудно найти убеждающий пример сензорных персевераций — может быть, оттого, что в небогатом списке самостоятельных движений этого уровня и в норме много и непроизвольных, и повторительных движений. Зато в фоновой роли он дает очень четкие персеверации. Поскольку речь идет не о полном выпадении уровня синергий (иначе не могло бы быть речи о персеверации), а о гиподинамическом снижении тонуса его афферентаций, постольку расстройство в целом имеет вид общего упадка как количества, так и масштаба доставляемых им фонов по всем вышележащим уровням — разлитой частичной деавтоматизации движений во всем, что касается их синергетического оснащения. Если при этом выключательные механизмы афферентационного звена уровня ослабели в большей мере, чем его же эффекторы, то может получиться картина *персеверации остатками синергетических фонов.* Это есть явление, которое, не получив одного объединяющего названия, именуется "*пропульсией*", "*ретропульсией*" и "*латеропульсией*" применительно к ходьбе, но распространяется и на многие другие двигательные акты. Больной с синдромом дрожательного паралича (paralysis agitans) обнаруживает явления гипердинамии нижнего экстрапирамидного этажа, рубро-спинального уровня *А*, обусловленные в порядке эффренации гиподинамией среднего этажа экстрапирамидной эффекторной системы, таламо-паллидарного уровня *В*. Общая гипертоническая скованность больного на фоне полной сохранности связанного с уровнем *А* отолитового аппарата равновесия очень облегчает ему возможность стояния и ходьбы, но крайняя ригидная тугость мышц и обеднение синергий делают ходьбу трудным и утомительным для его нервной системы актом. Тем не менее, будучи подтолкнутым вперед и поставленным в условия неминуемой потери равновесия, если не начнется соответственного переступания, больной *непроизвольно* включается в процесс ходьбы на остатках шагательных синергий и уже более *почти не может остановиться* по произволу. Подобные же персеверации шагания возникают и как следствия подталкивания пациента вбок или назад. Нельзя не отметить, кстати, сходства защитной роли, которую берет на себя при этом синдроме *деавтоматизации* гипертоничность по уровню *А*, с той предохранительной произвольной разлитой фиксацией всех суставов, которая свойственна новичку *до автоматизации* нового навыка в этом же самом уровне синергий (см. гл. VIII).

Персеверации эффекторного типа в уровне синергий, проистекающие за счет гипердинамии его эффектора — pallidum — составляют подчас значительную часть тех гиперкинезов всяких видов, которыми изобилуют синдромы хореи, атетоза, тика и т.п. Очень часто эти гиперкинезы принимают интенционный оттенок: пока больной находится в покое, ему удается до известной степени задерживать эти непроизвольные гиперкинезы, но достаточно ему начать какое-нибудь активное движение, как они немедленно пробуждаются и начинают бить через край.

Здесь-то легко и возникают эффекторные персеверации: расшевеленные гиперкинезы повторно воспроизводят предпринятое движение или успевший состояться обломок его начала в изуродованном, окарикатуренном виде. Так создаются те гротескные фоны без фигуры, о которых уже была речь в гл. IV. Характеристическая черта как персевераций, так и вообще всяких гиперкинезов уровня синергий — это именно их изуродованность; хотелось бы назвать ее растерянностью сензорных коррекций. На уровне пространственного поля, к которому мы сейчас обратимся, основная суть коррекций в согласовании двигательного процесса с внешним, объективным пространством. Их нарушения ведут к разлаживанию меткости, направленности, своевременности движений, словом, их целевых взаимоотношений с внешним миром; и патологически измененные коррекции точно знают, если можно так выразиться, в какую сторону и на сколько они ошиблись в том или ином случае. При движениях на уровне синергий основная задача коррекций — внутренняя увязка большого целостного движения, согласование его частей с самим собой. Если от глобального движения только и остаются разорванные части, то корригирующий аппарат остается нацело лишенным и мотивов, и директив, как и в каком смысле корригировать эти обломки. Отсюда, видимо, проистекает та моторная анархия, которая более всего характерна для гиперкинетических синдромов этого уровня.

Сензорные персеверации на уровне пространственного поля не редки как следствие кортикальных травм в постцентральной или париетальной области. При самой простой пробе с бумагой и карандашом больной этого рода на предложение нарисовать кружок отвечает множеством кружков, заполняющих весь лист (на такое же задание больной паркинсоник с явлениями пропульсии нередко реагирует непрекращающимся кружением карандаша по одному месту, дающим в итоге целый клубок). Сходные явления персеверации получаются на уровне пространственного поля и при пробе с постукиванием: задача "точка-точка" превращается в нескончаемую последовательность точек или двоеточий.

Явления сензорных, гиподинамических персевераций в уровне *С* нередко чередуются с явлениями "застревания", легко обнаруживаемыми путем рисовальных проб, подобных той, которую мы использовали в качестве примера при определении понятия "застревание"[1] (рис. 96, 97).

Персевераций гипердинамического типа уровня С мы ни разу не наблюдали. Как уже было сказано, ирритативные состояния эффекторов этого уровня с гипердинамическими проявлениями любых типов вообще трудно наблюдаемы.

Зато клиника *уровня действий D* очень богата персеверативными явлениями всех оттенков, нечувствительно подводящими вплотную к высшим, символическим уровням группы *E*. В области сензорных, или гностических, апраксий персеверация очень легко постигает пациента на любом из элементов цепного действия, который повторяется без конца, обессмысливая всю цепь. Возможны и гра-

---

[1] Наиболее часто встречаемые формы *заикания* представляют собой гиподинамические персеверации с чисто функциональным генезом. Принадлежность их к тому или другому уровню неясна; наиболее вероятна связь их с нижним подуровнем пространственного поля *C1*, почему мы и упоминаем их здесь. Являющееся правилом исчезновение заикания при пении подкрепляет это предположение. Объясняется это тем, что пение, базирующееся в основном на стриальных фонах, мобилизует подуровень striati, снимая его функциональную гиподинамию.

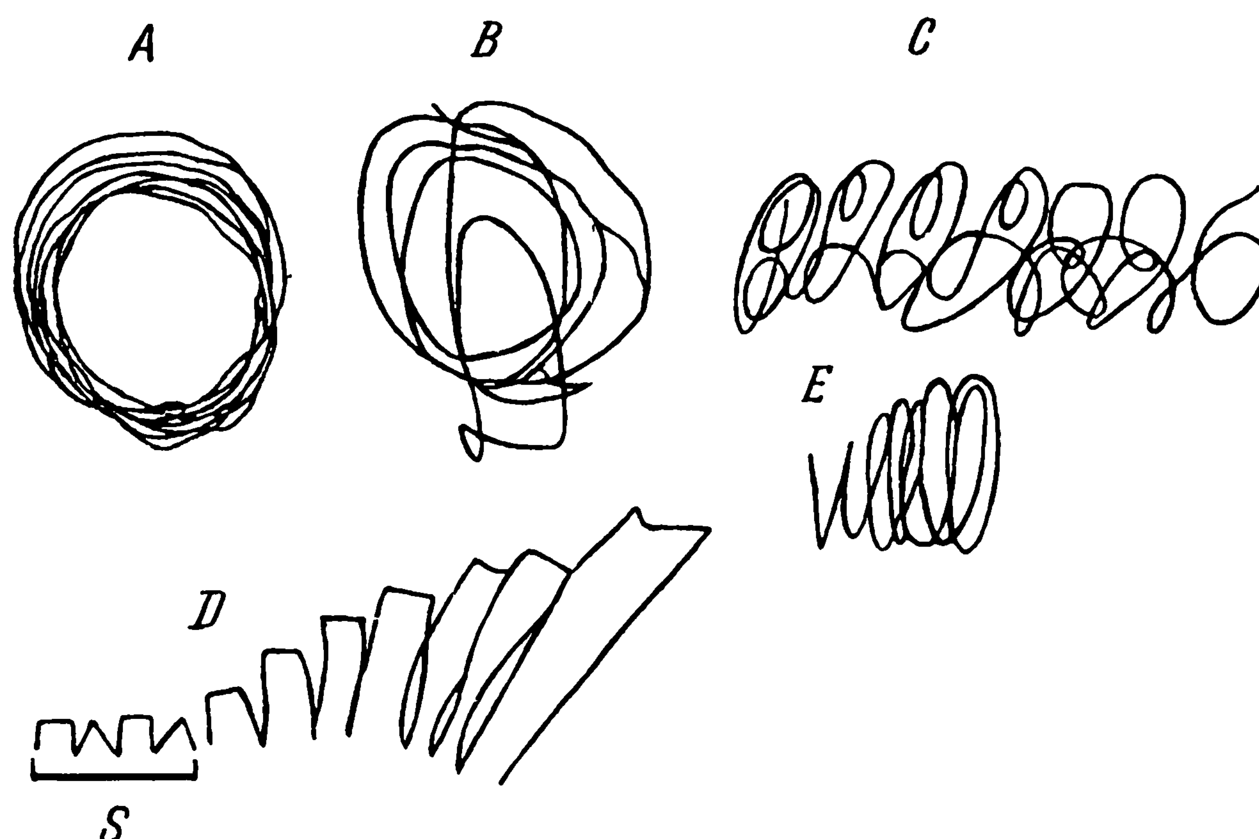


Рис. 96. Персеверативное письмо и рисование больного, у которого в результате кровоизлияния в белое вещество мозга в районе премоторной зоны образовался (впоследствии ликвидировавшийся) синдром премоторных нарушений координации

4-й день после кровоизлияния. Задания: *A* — круг, *B* – квадрат, *C* – число 122, *D* – воспроизведение ломаной, отмеченной черточкой *S*, *E* – число 101. Показание пациента при опыте *D*: "Как зарядил, так и иду... Заметил, что не так, но не мог изменить" (А.Р. Лурия)

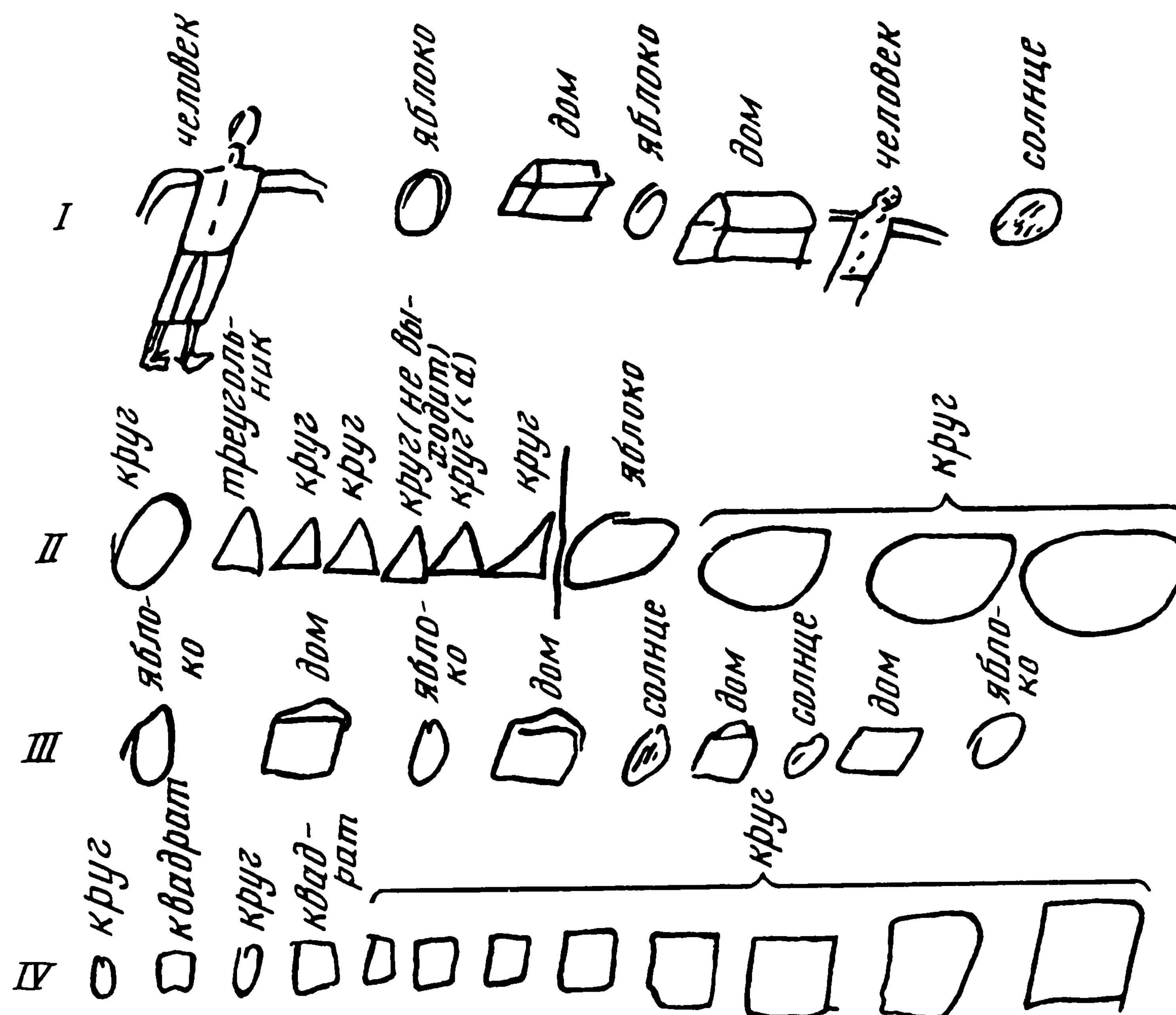


Рис. 97. Случай избирательной персеверации в уровне пространственного поля при полном отсутствии таковой в предметном уровне

Надписи над каждой фигуркой сделаны экспериментатором после окончания опыта и воспроизводят дававшиеся больному словесные задания. *I, III* — предметный уровень переключений; *II, IV* – переключение при рисовании простых фигур. Больной Г. с глубокой опухолью лобной доли (из материалов А.Р. Лурия)

8. Зак. 4414

ничащие с "застреванием" перескоки с исполняемой цепи на цепь, реализовавшуюся перед этим. В области письма могут встречаться все разновидности дефектов — от проявлений простой сензорной аграфии до неоспоримого "застревания".

Письменные пробы представляют немалые удобства и для распознавания этих разновидностей[1].

Общий характер персевераций сензорной группы в описываемом уровне — обязательное искажение смысловой структуры, обессмысливание действия. В норме побудительным мотивом к выключению выполнения очередного звена цепи является смысловое осуществление той частной задачи, которую призвано решать это звено. У гностического апрактика, у которого испытывают распад как раз общее осмысление задачи всего действия и, следовательно, его смысловая структура, исчезают мотивы к тому, чтобы в тот или другой момент отключить текущее звено. Его нескончаемое продолжение диктуется апрактику линией наименьшего сопротивления: легче продолжать начатое, чем переключиться на другое, ничем не зовущее к себе звено.

Очень важно отметить большую *избирательность* по отношению к контингентам движений, обнаруживаемую персеверациями уровня действий. Вернее, нужно говорить даже не об избирательности к движениям (в смысле их внешнего, кинетического оформления), а об избирательности к смыслу заданий того или другого рода. Так, например, больной без каких-либо затруднений рисует по заданию наблюдателя кружок или треугольник, но никакими усилиями не может перебороть персеверации, если начнет выполнение задания нарисовать "солнце" или "домик", которые он изображает почти неотличимо от круга и треугольника. В других случаях может получиться как раз наоборот, вследствие чего такие избирательные персеверации могут оказаться очень ценными признаками для топической диагностики (рис. 98, *не помещен. — Примеч. ред.;* рис. 99).

Эффекторные персеверации уровня действий противоположно сензорным ясно обнаруживают свое гипердинамическое, или, говоря более узко, гиперкинетическое, происхождение. Эти проявления ирритации органа, обеспечивающего реализацию двигательного состава действий, очень часто оформляются как навязчивые, непроизвольные, *машинальные действия*, вернее сказать, обрывки действий, поскольку дело идет, как правило, о вырывающихся наружу и без конца повторяющихся фоновых автоматизмах из их двигательного состава. Эти навязчивые машинальности отличаются от сензорных персевераций уровня D, помимо того что нередко протекают на фоне общей двигательной и речевой возбужденности пациента, еще тем, что *сензорные* персеверации возникают как ошибки при беспомощных попытках апрактического больного решить вставшую перед ним двигательную смысловую задачу. *Эффекторные* же персеверации, машинальности,

[1] Пациенту предлагают написать слово "революция". Если он пишет "руция" — это простая сензорная аграфия. Если задание выполняется в виде "реререция", или "ревввв", или, наконец, в виде многочисленных повторений верного написания заданного слова — это все различные варианты персевераций, определяющиеся особенностями локализации и структуры очага. Наконец, писание слова "революция" в ответ на всевозможные дальнейшие задания есть "застревание". Нельзя не вспомнить по поводу излагаемого прекрасной зарисовки у Н.С. Лескова (рассказ "Котин-Доилец и Платонида", гл. III) невропатического ребенка, систематически проявлявшего свой страх перед учителем в виде стереотипной персеверации при писании своего имени "Константинтинтинтинтинтин..." и т д

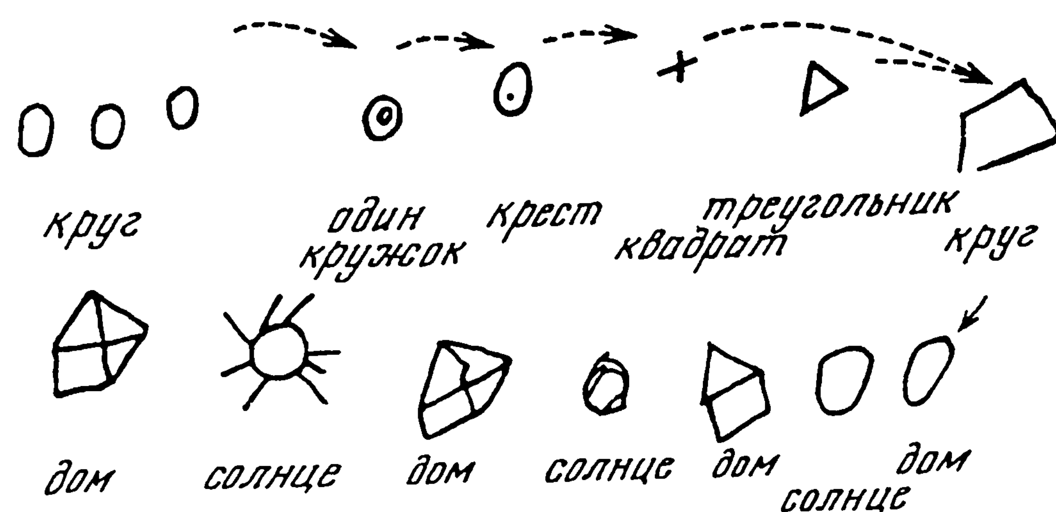


Рис. 98. Явления персеверации в уровне *C2* при отсутствии таковой в уровне *D* у больной с опухолью левой лобной доли (А.Р. Лурия)

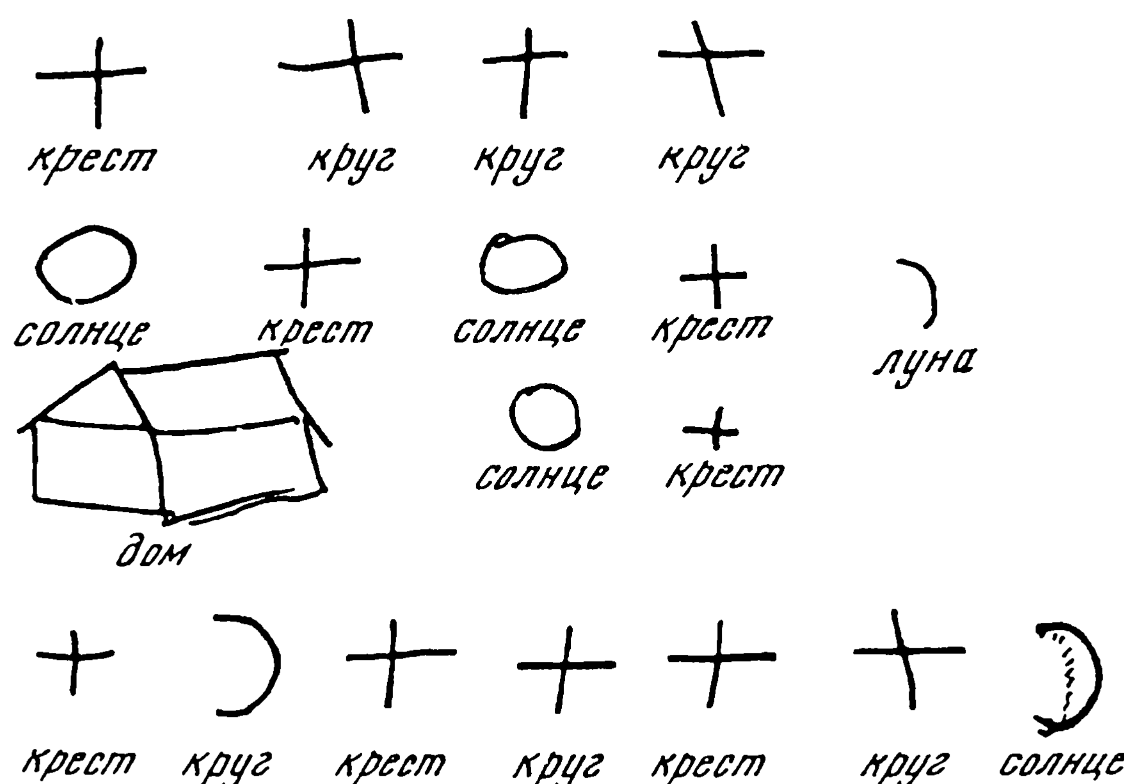


Рис. 99. Персеверация у больного с лобным симптомокомплексом
Рисование фигур по заданиям (словесные задания экспериментатора подписаны под каждой фигуркой рисунка). В верхней строке, выполнив правильно первое задание — крест, пациент затем трижды персеверирует его, несмотря на настойчивые предложения нарисовать круг. В нижней строке на задание "крест" выходит крест, на задание "круг" удается полукруг, а затем снова на все задания начинается персеверация крестов. Очень интересно и характерно для избирательных свойств признака персеверации, что достаточно превратить словесные задания из отвлеченно пространственных в предметные, т.е. переключить больного на другой уровень построения, чтобы от персеверации не осталось и следа — см. 2-ю и 3-ю строки, а также конец 4-й (рисунок предоставлен проф. А.Р. Лурия)

появляются вне всякой задачи, по случайному побуждению или без него, в порядке общего гиперкинеза, находящего выход в повторениях одних и тех же автоматизмов. От субкортикальных, экстрапирамидных персевераций и общих гиперкинезов таламо-паллидарного уровня характеризуемые навязчивые машинальности резко отличаются отсутствием анархической изуродованности: они вполне складны и внутренне координированы, как этого и следует ожидать от фонов, исходящих из не пострадавших самих по себе уровней построения; если бы пациент был в состоянии справиться с ними и включить их в планомерные смысловые цепи, то они безукоризненно отвечали бы своему назначению. Эти машинальности не дискоординированы, а только неуместны.

Чтобы закончить вопрос об описываемом признаке персеверации, нужно сказать, что последняя обнаруживается не только при органических очаговых поражениях мозга, но существуют случаи,

когда персеверации проскальзывают и у нормальных субъектов без каких бы то ни было болезненных предпосылок. В этих случаях возможны оба вида персеверации — и сенсорные, или гиподинамические, и эффекторные, или гипердинамические.

Гиподинамические персеверативные проявления возможны прежде всего на фоне общего функционального ослабления нервной системы: при сильном утомлении, сонливости, интоксикации и т.п. При нормальных состояниях организма сенсорные персеверации (или застревания) могут появляться: 1) когда создается необходимость в быстром переключении на другую форму или другой темп движения, 2) когда выполняемый двигательный процесс нов или слишком труден для субъекта, 3) когда что-либо интенсивно отвлекает или сбивает его. Приведем примеры. Речевые персеверации очень свойственны детям, обучающимся говорить (папапа вместо папа, лампапа вместо лампа, бакака вместо собака и т.п.) или только недавно овладевшим речью (ошибки вроде гигипотам, папятник, какаратица; мама, момоги; папа, попоги мне и т.п.)[1]. У взрослых они вновь проступают при значительных трудностях для выговаривания, требующих внезапных тонких переключений для лавирования среди похожих звучаний; ошибки именно персеверативного характера появляются с наибольшей частотой в тех случаях (*скороговорки*), когда заданный текст сам представляет собой *почти* персеверацию[2]. Вот лингвистические следы аналогичных персеверативных ошибок, происшедших при заимствовании слова с чужого языка: *тартарары* от латинского tartaros; французское trésor с двумя r от греческого thesauros с одним r и т.д.; слоговые удвоения персеверативного характера в словах древних языков: themo—tithemi, tango—tetigi, и т.д.

Очень нередки персеверативные ошибки во время разучивания трудных пассажей на музыкальном инструменте. Иногда легче персеверативно ударить на фортепиано лишнюю ноту, чем сделать требующийся по нотному тексту внеритменный пропуск — синкопу. На циклографических записях игры на фортепиано хорошо видно, как даже законченные мастера делают в моменты подобных синкопических пропусков персеверативные холостые движения рукой в воздухе, поскольку это гораздо легче, чем затормозить руку (см. рис. 61). В утомленном состоянии нередко возникают персеверативные ошибки в письме.

В *локомоторных движениях* мы встречаемся с персеверациями там, где циклический процесс подвергается резкому переключению на однократный акт, требующий большой силы и внимачия. При прыжке в длину с разбега многие мастера, уже оттолкнувшись от земли, в полетной фазе прыжка, продолжают перебирать ногами в ритме предшествующего бега (так называемые "ножницы"), что очень ясно видно на хронофотографических снимках (рис. 100). Нередко высказывается мнение, что "ножницы" оказывают полезное механическое действие на результат прыжка. Это неверно, так как никакие телодвижения при отсутствии внешней точки опоры не могут повлиять на прыжковый полет. Но может быть для прыгающего и легче в момент резкого напряжения сил при отталкивании и прыжке отдаться на волю персеверации, чем отвлекаться на борьбу с ней, тем более что помешать успеху она тоже не может.

Персеверации эффекторного, гипердинамического типа при норме говорят об избытке сил, ищущем

---

[1] Такой исключительный знаток детской речи, как К.И. Чуковский, настойчиво подчеркивает это обстоятельство. "Дети более младшего возраста пользуются рифмой не для игры, не для украшения речи, но... для облегчения ее. При неразвитом голосовом аппарате младенца ему *значительно легче произносить схожие звуки, чем разные.* Легче, например, сказать, "*покочиночи*", чем "покойной ночи". Оттого, чем меньше ребенок, чем хуже владеет речью, тем сильнее его тяготение к рифме" ("От двух до пяти". 1937. С. 238). "Ненормальны или больны те младенцы, которые не проделывают таких языковых экзерсисов. Это именно экзерсисы, и трудно придумать более рациональную систему упражнения в искусстве речи, чем такое *многократное повторение всевозможных звуковых вариаций*"... "Чтобы научиться управлять (звуками языка) по своему произволу, он по очереди произносит их снова и снова, причем, ради *экономии сил*, в каждом новом звукосочетании изменяет только один звук, а все остальные оставляет нетронутыми" (Там же. С. 240).

На такое же явление персеверации слов у своего четырехлетнего сына указывает А.Н. Толстой: "Никита взглянул на меня строгими глазами и сказал: — Послушайте, послушайте (у него есть привычка по два раза повторять некоторые слова), это же в самом деле глупо... Отдайте мне бумагу, а сами пишите, пишите, пишите коротенькую историю" (*Толстой А.* Приключения Никиты Рощина. Предисловие). (*Выделения в цитатах сделаны Н.А. Бернштейном. — Примеч. ред.*).

[2] Несколько примеров, представляющих известный интерес для речедвигательного анализа: "Клара украла у Карла кораллы, Карл у Клары украл кларнет"; простые, но нелегкие скороговорки: "король—орел—король—орел", "шла Саша по шоссе", "cinq sangsues à cent cinq sous" и тому подобное.

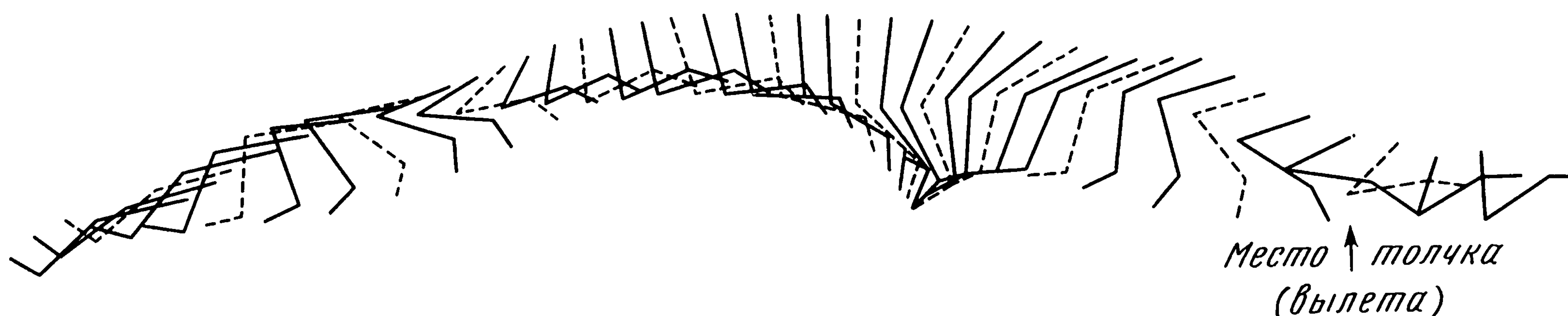


Рис. 100. Последовательные положения левой (нетолчковой) ноги при прыжке в длину с разбега
Хорошая иллюстрация бесполезной в биомеханическом отношении персеверации: левая нога проделывает в воздухе во время полета полный шаговой цикл спринта с мнимой опорной остановкой в воздухе и последующим махом (работа Н. Садчикова, ЦНИИФК, 1938 г.)

себе какого-то удовлетворяющего исхода, почему и носят так часто прямой или косвенный игровой оттенок. Они проявляются с раннего детства в тех нескончаемых повторениях — выкрикиваниях одной стихотворной строчки, иногда даже с совершенно заумным текстом, которые К. Чуковский удачно называет "кричалками"; проступают в полустихотворениях ("газеллы") примитивного уровня культуры, состоящих из бесконечных повторений почти не изменяющихся по тексту однойдвух стиховых строчек; обнаруживаются во всевозможных видах аллитераций и ассонансов, бесчисленных шуточных персевервативных удвоениях слов, встречаемых на всех языках мира: всяческие Witzli-Putzli, pique-nique, pêle-mêle, Humpty-Dumpty, Handy-Spandy, Heetum-Peetum, шахер-махер, тары-бары, гоголь-моголь, фигли-мигли, тень-тень-потетень и т.п. Отсюда уже один только шаг к объяснению привлекательности, а может быть, и генеза стиховой рифмы. В общей моторике произвольная гипердинамическая персеверация локомоций "от избытка сил" дает *пляску*. Замечательно, что подобные "эйфорические" персеверации-гиперкинезы встречаются на уровнях не ниже стриального подуровня *C1* пространственного поля; в проекции на филогенез это же наблюдение подтверждается тем фактом, что песня и пляска появляются там не ниже птиц.

* * *

Теперь переходим *к специфическим признакам здоровой нормы*, т.е. к тем избранным явлениям, которые способны с наибольшей точностью и выразительностью обеспечить ответы на четыре основных вопроса — о ведущем уровне и об уровневом построении наблюдаемого нормального целостного двигательного акта.

Само собой разумеется, что все то характерное для общего облика движений разных уровней и для их специфических особенностей, что составило содержание соответствующих описательных глав (см. гл. III—VI), должно послужить к их распознаванию в норме в первую очередь. Здесь речь идет о подборе и группировании таких вспомогательных признаков, которые легко систематизируются, доступны оформлению в виде функциональных проб и могут помочь в распознавании уровневого построения и состава двигательных актов в сложных и неясных случаях. Они относятся к описаниям гл. III—VI, как приметы — к портретам.

При выборе и группировании таких признаков удобно и целесообразно исходить *из динамики построения* в центральной нервной системе осваиваемого ею *двигательного навыка*, динамики, подробно охарактеризованной выше (см. гл. VIII).

Весь ход выработки двигательного навыка был разделен нами на *два периода*, разделяющиеся между собой фазой автоматизационных переключений.

Самая характерная черта процессов, присущих *первому* из этих периодов, — это выявление сторон и компонент двигательного акта, которые требуют особенно тщательной коррекционной отделки, и разграничение их от более индифферент-

ных, в отношении которых может быть допущена известная вариативность, случайная или приспособительная.

Совершенно естественно, что применительно к этому первому периоду построения наиболее выразительными признаками будут те, которые отражают собой специфические по каждому из уровней черты *точности* и ее оборотной стороны — *вариативности,* т.е. признаки, которые могут быть обозначены как *признаки специфической точности и вариативности.*

Второй период построения двигательного навыка назван (см. гл. VIII) периодом *стабилизации.* Он включает налагающиеся друг на друга по времени фазы срабатывания занятых в двигательном акте уровней, стандартизации компонент навыка и их собственно стабилизации. Самое существенное в этом периоде — это расширение диапазона условий (внешних и внутренних), в границах которого навыку гарантирована стабильность. Однако, как далеко ни продвигается работа центральной нервной системы над укреплением стойкости навыка против сбивающих воздействий, все же навсегда остаются в силе разные степени действенности различных факторов этого рода по отношению к разным уровням построения. Точно так же и сбивающее, деавтоматизирующее действие чрезмерно далеко заходящих вариаций остается весьма избирательно различным для разных уровней центральной нервной системы.

По отношению к одним видам видоизменений движения могут достигаться путем упражнения очень широкие диапазоны допускаемой вариативности, тогда как по другим они навсегда остаются узкими, обнажая, таким образом, слабые, негибкие, наделенные низкой приспособительностью места. Итак, и по линии допускаемой вариативности, и по линии различных внешних воздействий обнаруживается значительная *избирательность признака сбиваемости*: есть возможность указать вариации и воздействия, особенно действенные для каждого фонового уровня в отношении создаваемого ими сбивающего эффекта.

Отсюда следует, что для аналитической оценки *второго периода построения* наиболее характерна группа *признаков специфической стабильности* и ее оборотных сторон — *сбиваемости* и *деавтоматизации,* показательных как для уровневой структуры анализируемого сложного движения, так и для достигнутой степени освоения навыка, реализующего это движение.

Итак, для анализа уровневого состава и строения движения здоровой нормы и для отчета на четыре вопроса, которыми начата эта глава, мы можем реально использовать две парные группы признаков, обладающих наибольшей избирательной характерностью. Эти пары признаков уровневой принадлежности, связанные: одна — с выявлением и развертыванием двигательного состава, другая — с его закреплением и стабилизацией, смогут дать тем более отчетливые ответы на поставленные вопросы, чем более точно и обстоятельно удастся исследовать характерные свойства каждого из уровней построения в их отношении к перечисленным признакам. Когда мы будем располагать здесь четким исследовательским материалом, эти свойства должны будут заполнить собой таблицу ответов на следующие вопросы по каждому из координационных уровней в отдельности:

1. В каких элементах или свойствах движения или двигательной компоненты данный уровень выдерживает наибольшую точность и какова эта точность?[1]

---

[1] Ниже будет показано, что этот вопрос придется расчленить на три более детальных.

2. В каких элементах или свойствах движения или компоненты данный уровень допускает *наибольший диапазон вариативности* и какова эта допускаемая вариативность?

3. По отношению к каким видам воздействий или вносимых видоизменений те движения и их компоненты, которые вверены данному уровню, обнаруживают *наибольшую стабильность*?

4. Какие виды воздействий или вносимых в движение вариативных видоизменений оказывают на движения и компоненты, управляемые данным уровнем, *наибольшее сбивающее действие*?

Первые два вопроса связаны с группой признаков точности — вариативности, т.е. с первым периодом построения, вторые два — с группой признаков стабильности — сбиваемости, т.е. с его вторым периодом. В то же время первые два вопроса наиболее близко сопряжены с интересами и качеством *решения* стоящей перед индивидуумом *двигательной задачи*; вторые два — с интересами и качеством *протекания самого движения* и степенью достигнутой в нем автоматизации.

К сожалению, в построенной на этих вопросах поуровневой сетке еще так много пробелов и неясностей, что нельзя позволить себе по отношению к ней ничего, кроме довольно суммарного описательного эскиза. Нет сомнения, конечно, что если только сама постановка вопросов в ней правильна и правомерна, то точные экспериментальные и клинические ответы на них не преминут в ближайшем будущем возникнуть и расставиться по соответственным квадратам.

Признак точности, отраженный в первом из вопросов предыдущей страницы, нуждается в некоторых пояснениях по поводу его соотношений с явлениями и признаками вариативности и сбиваемости.

Существует не так уж много движений, в которых точность имеет легко установимые, объективные количественные критерии. Во всех этих случаях, имеем ли мы дело с целостным движением или его компонентой, речь всегда идет о *целевой точности*, непосредственно связанной с успешностью решения двигательной задачи. Эта точность может в одних случаях носить *финальный характер*, относясь к конечному моменту или пункту совершаемого движения. В этих случаях она почти полностью синонимична с меткостью: точность показывания точки, прикосновения, укола, попадания по цели баллистическим — ударным или метательным — движением и т.д. В другой группе случаев та же целевая точность принимает *процессуальный характер*, обнаруживаясь по самому ходу движения: обведения зрительно или осязательно воспринимаемого контура, аккуратного письма по линейкам, строго прямолинейного движения на велосипеде и т.п.[1] Для всех этих проявлений целевой точности неизменно характерно наличие *объективных, внешних критериев*, дающих возможность *количественной оценки* погрешностей и отклонений. Очень легко представить себе подобные критерии для таких, например, двигательных актов, как вдевание нитки в иглу, выстрел из винтовки или лука в цель, отражение теннисного мяча на "бреющий полет" над сеткой, удар молотком по гвоздю, рисование на глаз окружности, метание гранаты в цель или через "окно" и т.п.

[2] Проявления *финальной* точности очень типичны для верхнего подуровня пространственного поля *C2*, хотя отнюдь не монопольны для него; проявления *процессуальной* точности так же типичны для подуровня *C1*.

Однако объективно правильная оценка целевой точности не может быть получена из наблюдения над однократным выполнением движения, так как из нее должен быть исключен элемент *случайности*: случайно особенно точного, или, наоборот, случайно же более дефектного выполнения движения, чем это обычно свойственно испытуемому. Объективная и надежная оценка целевой точности может быть выведена только из *серии* одноименных движений посредством построения *кривой распределения* погрешностей или отклонений от имеющегося для данного вида движений критерия: например, отклонений кончика нитки от центра игольного ушка и т.п. Анализ такой кривой распределения дает для целевой точности *два измерителя*: 1) *среднее отклонение*, т.е. среднее значение степени неточности по всем замеренным случаям; этот измеритель мы будем в последующем, расширив несколько значение термина, называть измерителем *меткости*; 2) меру *рассеяния* или распыленности кривой распределения, либо, что ведет к тому же, обратную ей меру *собранности, или кучности,* кривой. Термин "кучность" (как и меткость) заимствуется нами из словаря, связанного со стрельбой, и характеризует там степень собранности прицельного огня на возможно более узкую площадь цели. Он кажется нам очень удачно выражающим понятие, противоположное распыленности или рассеянию кривой распределения отклонений живого движения.

Совершенно очевидно, что рассеяние или распыленность кривой распределения есть не что иное, как *вариативность движений* по изучаемому показателю; таким образом, вариативность входит одним из двух измерителей в оценку целевой точности. Схематически эта оценка выглядит так:

Целевая точность	
Меткость	*Кучность*
(иначе: среднее отклонение, или средняя погрешность, или систематическая ошибка и т.д.)	(иначе: собранность; обратные ей величины: рассеяние, или распыленность, или вариативность и т.д.)

Как измеритель *меткости*, или систематическая ошибка, так и измеритель *кучности* могут иметь в разных случаях самые разноообразные значения. Но что касается кучности, то в преобладающем большинстве движений вариативные отклонения распределяются *по законам случая*, т.е. кривая распределения имеет вид кривой Gauss.

Упомянем в качестве примера об исследовании Л. Бриль под руководством автора (1944—1945 гг.). Испытывалась точность повторных трансверзальных ритмических перемещений кисти руки на 50 см под проприоцептивным контролем после короткого врабатывания — привыкания при зрительном контроле. Слева на столе находился упор, справа же рука должна была наносить укол иглой на подложенную бумагу. Абсциссы всех уколов и динамика их изменений во времени замерялись и подвергались вариационно-статистической обработке.

На рис. 101 хорошо видны как смещения систематической ошибки, так и изменения степени кучности кривых распределения под влиянием врабатывания, утомления и отдыха.

Движения, нуждающиеся по своему смыслу в *целевой точности,* которые при этом предъявляли бы значительно более высокие *требования* к кучности, нежели к меткости, *никогда* не встречаются, хотя *фактически* имеет место целый ряд движений, кучность которых дает гораздо более высокие показатели, чем меткость. Требования к *меткости* при индифферентизме к кучности возможны, но пред-

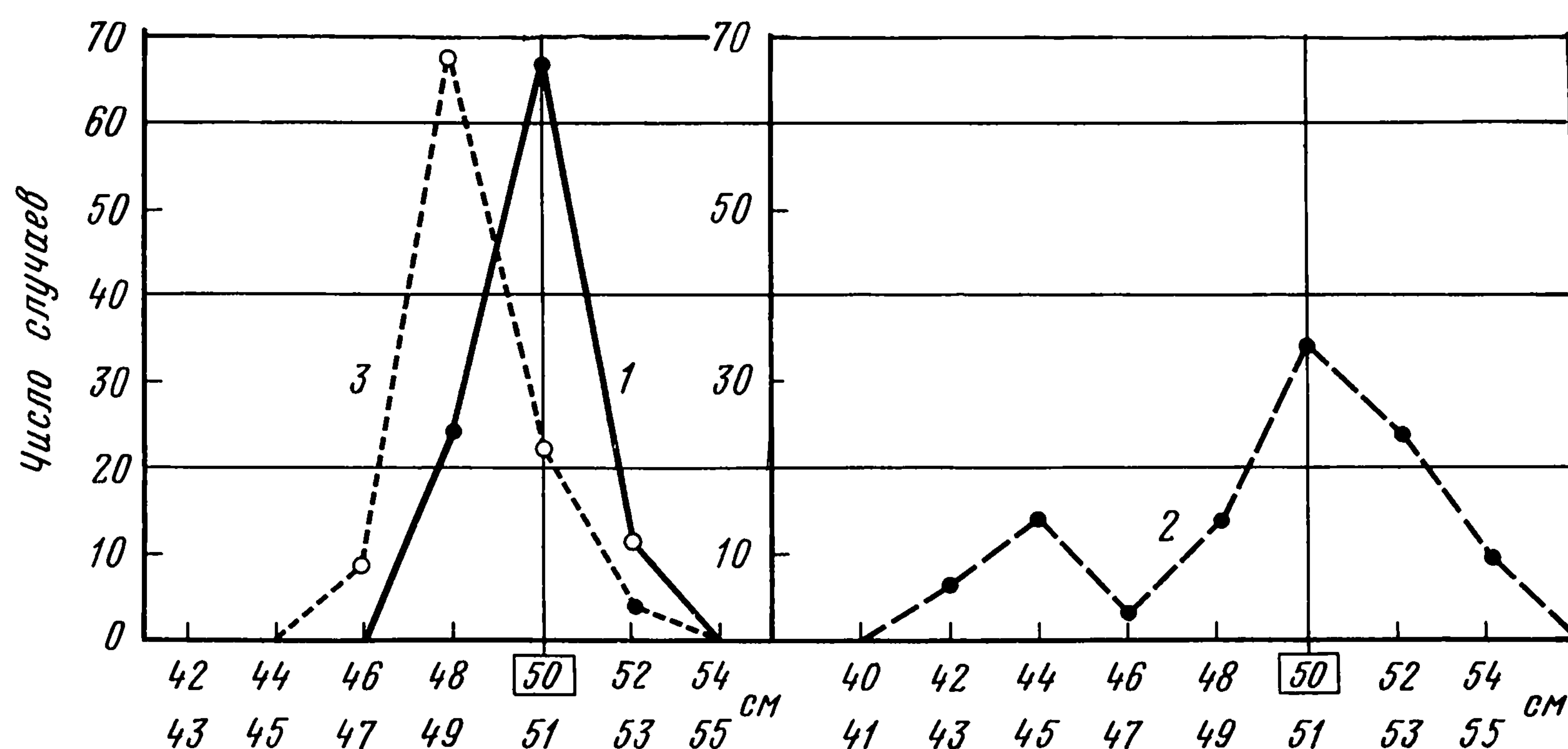


Рис. 101. Кривые распределения попаданий при проприоцептивной оценке расстояний
Слева — в неутомленном, справа — в утомленном состоянии. *1* — первые 5 мин работы; *2* — вторые 5 мин работы; *3* — первые 5 мин работы после 1 мин отдыха. Типичный протокол единичного опыта (Л. Бриль, из лаборатории К.Х. Кекчеева, Ин-т психологии, 1945 г.)

ставляют большую редкость (например, движения обвода штифтом планиметра, или, в некоторой степени, движения рулевого управления)[1].

Однако в преобладающем большинстве движений как элемент требований к высокой целевой точности, так и соответственно критерии для оценки систематической ошибки выполнения отсутствуют. Что считать мерилом координационной точности при ходьбе, выполнении хореографического движения, письме, силовом атлетическом упражнении, толкании ядра, метании диска? Очевидно, понятие точности нельзя считать принципиально неприложимым к движениям вроде перечисленных. Координационные элементы точности есть и в них, но найти измерители для них более затруднительно.

Можно бы пойти по пути небольшого усложнения упомянутых движений, с тем чтобы в известном смысле приблизить их к движениям целевой группы: например, заставить человека идти по расчерченной поверхности и следить за тем, насколько точно он ступает на указанные ему последовательные полоски, или пустить его идти по узкой доске или батуту, или дать задание "бежать по

[1] В гл.V было высказано по поводу *приспособительной вариативности*, отличающей акты уровня пространственного поля от штампов уровня синергий, что эта вариативность непосредственно необходима для точного прилаживания этих актов к наилучшим решениям обусловливающих их двигательных задач. Отсюда может получиться впечатление, что широкая вариативность, т.е. *низкая* кучность, в ряде случаев существенно связана с высокой целевой точностью и меткостью. Действительно, случаи вроде меткой стрельбы в лёт очень ярко сочетают оба показателя: большую приспособительную вариативность прицельного жеста и столь же большую меткость, т.е. малую среднюю ошибку выстрела. Однако более внимательный анализ показывает, что в этом случае, как и во всех аналогичных ему, те коррекции, которые обусловливают высокую *меткость*, обязаны обеспечивать и столь же высокую кучность, иначе все равно меткой стрельбы не получится; вариативность же прицельного жеста обслуживается при этом коррекциями совершенно другого строения и состава. Это ярче видно на тех примерах, где целевая приспособительная вариативность движения регулируется *другим уровнем*, нежели целевая точность: например, *предметные цепи* действий тореадора, вариативность вспомогательных движений которого не нуждается в описании, решающий же жест укола в область продолговатого мозга быка (*C2*) максимально стандартен и точен, поскольку всякая погрешность в нем против целевой точности грозит смертельной опасностью. Итак, *в самом пункте целевой точности* меткость существенно неотделима от кучности.

кочкам" (упражнение, практикуемое в спорте на местности), или предложить писать вместо привычной гладкой бумаги по линейкам и т.п. Но не трудно видеть, что этими вмешательствами мы существенно *изменяем формулировку двигательной задачи*, вносим изменения в физиологическую структуру движений, побуждаем испытуемого включать необычные для этих движений афферентации, т.е. *переводить наблюдаемые нами движения на другие уровни построения.* Это не то, что нам нужно.

Ясно, однако, что если измеритель *меткости* не применим к движениям, лишенным элемента целевой точности, то второй измеритель, характеризующий их *вариативность,* обладает универсальной приложимостью к движениям всевозможных видов, не требуя при этом внесения в них каких-либо изменений или осложнений. Этот измеритель вариативности прилагается особенно удобно ко всякого рода циклическим движениям: ходьбе, бегу, плаванию, гребле, письму, работе напильником, пилой, к ритмическим гимнастическим упражнениям и т.п., но вполне пригоден и для любых однократных, лишь бы они могли быть повторяемы по нескольку раз. Идея измерителя, или *критерия вариативности*, определившаяся уже при сделанной выше характеристике кривых распределения отклонений, состоит, очевидно, в том, чтобы *сравнивать* движения *между собой*, а не с внешним контрольным знаком, в некоторых случаях существенно входящим в состав движения и его коррекций, в других же случаях отсутствующим вовсе.

Точность никогда не встречается ни в целостных движениях, ни в двигательных компонентах *как самоцель*, и коррекции, проявляющие к ней в каких-либо направлениях повышенную взыскательность, не вырабатываются и не отшлифовываются в координационных уровнях без существенной побудительной причины. Такой побудительной причиной является всегда: 1) либо потребность *в целевой точности,* которая может стимулировать развитие и возрастание как измерителя меткости, так и измерителя кучности, 2) либо же требования *к стабильности* — необходимость застрахования движения от непосильных для него сбивающих вариаций. В этом случае отсутствие внешнего критерия (какой свойственен движениям с целевой точностью) делает понятие *меткости*, разумеется, неприложимым, и развитие точности устремляется целиком по направлению повышения кучности, т.е. по направлению *снижения диапазонов допускаемой вариативности.* Таким образом, по характеризуемому пункту переменная точность смыкается вплотную с явлениями *сбиваемости* движений и, в частности, с четвертым вопросом, сформулированным выше.

Итак, вопрос о признаке точности расчленяется после сделанного выше анализа на три вопроса: характеристики *целевой точности* по измерителям I) меткости и II) кучности и III) характеристика степени кучности, диктуемой не целевой точностью, а интересами *стабилизации* самого движения.

Теперь обращаемся к краткому и поневоле суммарному обзору уровневых характеристик и соотношений применительно к доведенным до наибольшего возможного в настоящий момент уточнения вопросам о специфических признаках.

Признаки *целевой точности* как в отношении абсолютных средних, так и в отношении меры рассеяния, или кучности, выявляются в движениях и двигательных фонах, уже начиная с наиболее низовых уровней. В частности, рубро-спинальный уровень *A* представляет собой, судя по всем данным, уровень *высокой и жесткой точности.* Но так как почти вся его работа протекает

в области очень глубоко скрытых и замаскированных физиологических и биомеханических фонов, то вскрыть показатели этой целевой точности и сделать их доступными измерению очень трудно для регистрационной техники настоящего времени. Насколько возможно судить по косвенным показателям, уровень *А* соблюдает высокую точность и устойчивость выдерживаемых и регулируемых им абсолютных значений *тонуса* как шейной и туловищной мускулатуры, так и антагонистических пар мышц конечностей. С такой же точностью выдерживает он в норме и *время* включения антагонистов в поворотных пунктах движения, в особенности там, где это включение по типу миотатического рефлекса растяжения. По нашим наблюдениям *динамики бега*, например, момент включения силовой миотатической волны n_A флексоров бедра маховой ноги выдерживается с кучностью, соответствующей рассеянию меньшем чем в одну миллисекунду. Точность, с какой этот уровень реагирует на отклонения от вертикальности головы и туловища, более широко известна; она распространяется на все виды и случаи двигательного, тонического и тетанического реагирования на вестибулярные (отолитовые) раздражения. Нельзя отказать в точности и осуществляемой этим уровнем *дозировке возбудимости* мышц конечностей. Хотя условия гетерохронизма, требуемого в качестве основной предпосылки для реципрокной иннервации и денервации антагонистов, как известно, сами по себе более чем нестроги, но важно то, что результат этого субординационного гетерохронизма получается вполне недвусмысленный по меткости. К сожалению, глубокая скрытость большинства регуляционных процессов, реализуемых уровнем *А*, и связанная с этим недоисследованность их пока не дают возможности ни расчленить здесь друг от друга оба измерителя целевой точности, ни наметить с какой-либо степенью надежности порядок их абсолютных значений.

В резком контрасте с предшествующим уровнем *уровень синергий В* совершенно не обнаруживает случаев целевой точности управляемых этих уровнем движений и их компонент. Всегда и везде эти движения и фоновые автоматизмы настолько замкнуты и оторваны от внешних измерительных эталонов, что вряд ли попытка измерения целевой точности, например, улыбки достойна чего-нибудь, кроме улыбки.

С переходом к подуровням *системы пространственного поля С* мы снова сразу вступаем в область целевой точности. По *нижнему подуровню С1* измеритель абсолютных значений точности ("меткости" — по нашему расширенному толкованию этого термина) имеет особенно высокие значения по двигательной оценке: а) *протяжений*, т.е. отрезков длины, б) *направлений* движения и в) дозированной *силы* нажима или трения. Как протяжения, иначе говоря, масштабы движений, так и соблюдение их направлений в пространстве выдерживаются у движений, управляемых этим подуровнем, в области точности порядка обнаруживается характеризуемым подуровнем применительно ко всем движениям, которые можно было бы обозначить как "примыкающие" движения: движения обведения фигуры, обвивания, обкладывания, двигательного следования за самостоятельно движущейся в зрительном или осязательном поле точкой и т.д. Во всех движениях этих видов подуровень *С1* обеспечивает строгую целевую точность совмещения, или конгруентности. Что касается измерителя *кучности*, то он дает наиболее высокие значения (обычно порядка нескольких миллиметров для кисти руки) точно так же для: а) масштабов и б) направлений совершаемого движения.

Подуровень С2, опирающийся на *пирамидную* эффекторную систему, уже известен нам как кульминационный уровень для целевой точности. Здесь при интенсивном использовании зрительного контроля оба измерителя точности достигают максимальных значений. "Сильные стороны" подуровня *С2*: во-первых, *финальная точка* движения при показывании, прикосновении, уколе и т.п., дающая точность порядка до малых долей миллиметра; во-вторых, меткость и кучность *баллистических движений* метания и удара (очень широко индивидуально варьирующие у разных лиц и в большей мере зависящие от надежности и совершенства фоновых автоматизмов из уровня синергий); в-третьих, точность сохранения *геометрической формы* и *геометрического подобия*; в-четвертых, точность *момента вступления,* однократных целевых движений. Эта точность, известная под именем "время простой моторной реакции", имеет порядок величины близ сотни миллисекунд при очень высокой кучности.

Поднимаясь к *уровню действия D*, мы снова попадаем в область коррекций, имеющих мало общего с метрической целевой точностью. Как это было уже подчеркнуто в гл. VI, вся потребность в точности, испытываемая действиями этого уровня, целиком удовлетворяется специальными фоновыми автоматизмами из обслуживающих эти действия нижележащих уровней; сами же по себе коррекции уровня *D* полностью переключаются в систему понятий и показателей "качественной геометрии" — *топологии*, глубоко чуждой метризму. Таким образом, признак целевой точности в обоих его подразделениях ничего выразительного по уровню действий *D* не дает.

Обращаясь к обзору сторон и свойств движений, выдерживаемых уровнями на *минимальной вариативности во имя стабильности* самих движений, мы должны отметить следующее.

По рубро-спинальному уровню *А* палеокинетических регуляций особенно резкое сбивающее действие оказывают прежде всего всякие *смещения головы и туловища*, способные обусловить какие-либо прибавочные раздражения вестибулярных (отолитовых) аппаратов. Таким образом, даже незначительные вариации позы, в особенности шейно-туловищной позы — боковые наклоны головы, наклоны туловища с головой, а тем более переход, например, из вертикального положения в лежачее, — оказывают уже сильное сбивающее действие на компоненты, управляемые этим уровнем. Столь же чувствительны эти компоненты и к малейшим изменениям *хваточной* позы кисти и пальцев, вызваны ли они заменой рукояти орудия или возникли в порядке преднамеренной вариации.

Двигательные отправления *уровня синергий В* буквально насыщены сторонами повышенной ранимости от внесения вариаций. Вся, в общей сложности не малая, точность, присущая движениям и фонам из уровня синергий, целиком зиждится на угрожающих им со всех сторон опасностях выхода за границы допустимых вариаций.

Причины такой уязвимости заключаются, во-первых, в том, что управляющие коррекции движений уровня синергий полностью строятся на проприоцептивных и осязательных ощущениях, неотрывно связанных с элементами самого движения: последовательно проходимыми позами, формулами суставных углов, скоростями звеньев, испытываемыми ими ускорениями и усилиями и т.д. Малейшие вариации всех этих переменных движений вызывают уже измененные проприо- и тангоощущения, и даже небольшое нарастание этих вариаций легко

может вытолкнуть движущийся орган в область неизведанных, никак не освоенных рецепций, т.е. вызвать координационную растерянность и деавтоматизацию. У уровня пространственного поля, например, с его нацело объективированным и экстраецированным пространством, построенным в основном на показаниях телерецепторов, находящихся далеко от рабочих органов и не движущихся вместе с последними, зона пространственного поля, располагающаяся перед глазами, в области самых привычных ручных манипуляций, давно изучена в каждом своем кубическом сантиметре и позволяет беспрепятственно смещать траектории движения любым образом в своих пределах. Там же, где рецепторы движутся вместе с самим движущимся органом, воспринимая только его самого, каждая новая вариация — это уже новое ощущение, и, разумеется, изо всей этой массы ощущений проработана и освоена в каждом навыке только сравнительно узкая полоса, правда, может быть, и расширяющаяся с увеличением стажа упражненности по этому навыку. В сущности, перед нами — та самая группа причин, которая делает уровень синергий таким негибким в отношении переноса навыков по органу (см. гл. VIII). Во-вторых, узость зоны допускаемых вариаций обусловливается у движений и фонов уровня синергий феноменом *динамической устойчивости,* точно так же подробно разобранным в гл. VIII. Там было указано, что русла динамически устойчивых движений узки, дискретны и разделены полями нестойких форм, саморазрушающихся за счет деструктивной работы реактивной динамики. Таким образом и создается характерная для уровня синергий преобладающая наклонность *к штампам* — счастливо найденным узорам движений, имунным по отношению к реактивным силам; стойкая кучность этих штампов, т.е. намеренно и искусно выдерживается низкая вариативность движений уровня синергий, есть не что иное, как свойственный этому уровню прием борьбы со сбивающим и разрушающим действием реактивной динамики.

Таким порядком уровень синергий *B* выдерживает на минимальной вариативности (т.е. на высокой кучности) прежде всего *позы*, рисунок суставных углов, формы траекторий и скорости движения по ним. Столь же уязвимы по отношению к внесению вариаций *темп* и внутренний ритм движения. Насколько резко сбивает движения этого уровня изменение темпа, видно хотя бы по резкой разнице структуры, например, стилей бега на средние и на короткие дистанции при отношении темпов обоих всего лишь порядка 2:3 или по вынужденному превращению ходьбы в бег при переходе через критический темп ~190 шагов в минуту. В порядке сравнения отметим ничтожные изменения структуры и соответственно ничтожное деавтоматизирующее действие, например, при увеличении в 1,5 и даже 2 раза темпа какого-нибудь беглого фортепианного пассажа (уровень *C*).

Нужно оттенить, что стандартность траекторий, амплитуд и скоростей движения в уровне синергий возрастает по мере перехода к системам с все большими значениями момента инерции, как это было, между прочим, показано нами на движениях ходьбы и рубки зубилом. Степень кучности возрастает параллельно быстроте сходимости рядов Fourier, интерпретирующих ритмическое живое движение, т.е. степени простоты и стройности структуры последнего. Так, например, при рубке зубилом и наименьшую кучность, и наименьшую сходимость тригонометрических рядов показали траектории локтевого и плечевого сочленений, а наибольшие значения тех же показателей — траектории: а) центра тяжести системы от локтя до конца молотка и особенно б) центра тяжести всей руки с молотком.

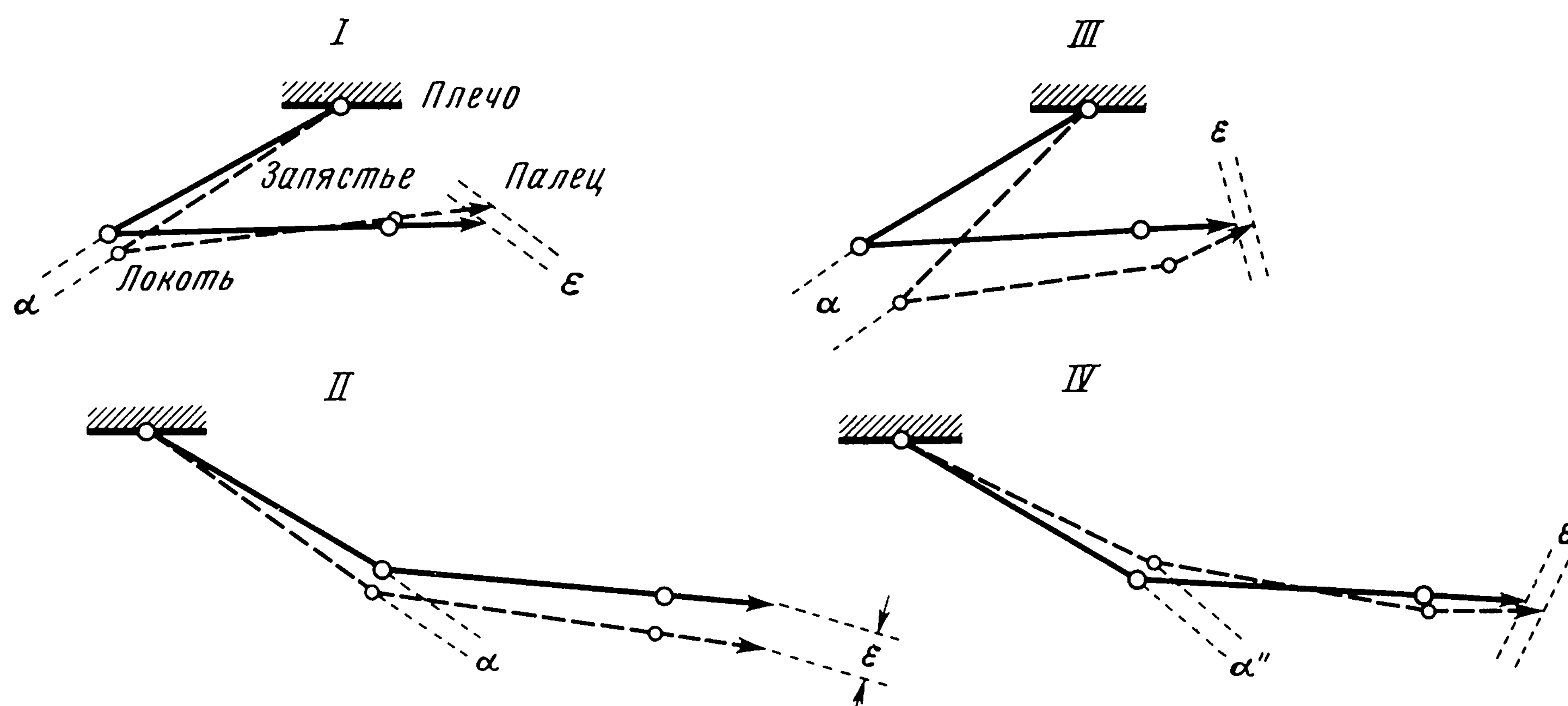


Рис. 102. Схема зависимости изменений точности от качества сенсорной коррекции
α — угловой допуск смещения плеча; ε — результирующий допуск в кончике пальца. При проприоцептивной коррекции за счет мышечно-суставной чувствительности плеча (позы *I* и *II*) допуск меняется пропорционально радиусу смещения (расстоянию от плеча до пальца), так как он определяется постоянством допуска α. При оптической коррекции (позы *III* и *IV*) точность у конца пальца не зависит ни от позы, ни от величины локтевого угла, ни от плечевого допуска α, α′, α″ и т.п.

Количественная степень точности (кучности), задаваемой уровнем синергий, в грубоватой характеристике может быть оценена как сантиметровая — по пространству и сантисекундная — по времени, как это опять-таки явствует из наших циклограмметрических материалов. Таким образом, эта кучность в общем ниже обеспечиваемой обоими прилегающими уровнями, но зато распространяется на очень широкий круг показателей (рис. 102).

О подуровнях *системы пространственного поля C* удается сказать меньше. По отношению к нижнему, стриальному подуровню *C1* наибольшим сбивающим действием обладают вариации: а) изменение *масштаба* или амплитудной метрики движения и б) изменение содержащихся в нем *направлений*. Если привычное, автоматизированное движение обведение контура или скольжения дволь линейной направляющей подвергнуть повороту, то это вносит очень ощутительную деавтоматизацию.

Что касается верхнего, пирамидного подуровня *C2*, то вообще присущие ему высокая и несбиваемая вариативность и переключаемость позволили пока прощупать только одно слабое место его по линии вариаций: если речь идет о воспроизведении геометрической фигуры — то поворот этой фигуры на 90 или 180°, если же о каком-либо ином не слишком примитивном движении в том же подуровне — то *зеркальный поворот* этого движения, т.е. взаимная замена в нем[1] правой и левой стороны.

Еще более высокая вариативность, свойственная уровню действий *D* и достаточ-

[1] В нем самом, а отнюдь не в отношении исполнительного органа, как раз в этом подуровне допускающего очень легкую переключаемость. Разумеется, для этого испытания должно быть выбрано несимметричное по форме движение.

но подчеркнутая при его общем описании (см. гл. VI), оставляет как будто только одну слабую сторону по части сбивающей вариативности в этом уровне: это как раз *снятие взаимозаменяемости правой и левой руки*, имеющей место в уровне пространственного поля. Таким образом, если замена правой руки на левую или обратно оказывает на двигательный акт сбивающее, деавтоматизирующее действие, то это почти точный знак, что этот акт ведется под управлением уровня действий *D*[1].

На вопрос о сторонах и свойствах движения, *наиболее безопасных в отношении допускаемой вариативности,* можно в настоящий момент ответить только в самых общих чертах. По обоим низовым уровням, опирающимся в своей работе на танго- и проприорецепторику, как *приспособительная, пластическая вариативность,* так и "*вариативность от индифферентизма*" столь же слабо выражены, как и явления переноса. По уровню синергий из всех перечислявшихся выше переменных наиболее вариативны амплитуды, допускающие сохранение привычной, автоматизированной двигательной структуры в довольно широких пределах.

Допускаемая вариативность, как приспособительная, так и индифферентная, начинает резко возрастать по целому ряду показателей в подуровне *C1*. Здесь уже имеет место отрыв от определенной пространственной координаты, т.е. широкая вариативность местоположения траекторий точек движущегося органа, и отрыв от самого исполнительного органа с появлением возможности многообразной викарной взаимозаменяемости. В подуровне *C2* сюда присоединяются: легкая вариативность амплитуды и масштаба, изменчивость положений, форм и допустимость поворотов траекторий в самых разнообразных плоскостях (за исключением зеркального обращения движения, см. выше). Вариативность смысловых цепей из уровня действий простирается еще дальше, позволяя сверх переключений рабочей точки и исполнительного органа еще целый ряд не искажающих смысла видоизменений в перечне и порядке звеньев цепи; регресс вариативности имеет здесь место только по отношению к правой и левой руке.

Точно так же мало можно сказать в настоящее время по вопросу о *наименее сбивающих внешних воздействиях*, т.е. о таких привходящих внешних условиях, которые, несомненно, осложняют общую обстановку выполнения двигательного акта и в то же время переживаются коррекциями данного уровня с достаточным индифферентизмом в смысле отсутствия от них сбивающего эффекта.

По отношению к обоим низовым экстрапирамидным уровням *A* и *B* наиболее индифферентным является прежде всего *выключение телерецепторов*, очень сбивающе действующее на движения вышележащих уровней. Для уровня синергий столь же мало опасным в смысле сбивающего действия и хорошо парируемым посредством механизмов динамической устойчивости является усложнение внешнего переменного силового поля, включение каких-либо новых, ранее не фигурировавших внешних сил или сопротивлений. Наконец, опять-таки по линии обоих низовых уровней, к безопасным внешним воздействиям надо причислить *отвлечение внимания* испытуемого, вообще не играющего заметной роли в непроизвольных, неосознаваемых фоновых компонентах из *A* и *B*.

Если можно причислить к категории воздействий и *время*, то этот фактор дает

---

[1] Отличительным признаком от уровня *B*, точно так же не допускающего переключений из правой в левую руку, является то, что акты уровня *D* во всевозможных других отношениях выносят любые вариации, тогда как уровень *B* сбивается ими.

очень малый деавтоматизирующий эффект по уровню синергий. Незначительное впечатление производит на движения и фоны этого уровня и изменение тактильного поля: сухость или влажность кожи, перчатки, та или другая одежда и т.п.

Двигательные акты из уровня пространственного поля *C* легко переносят экзогенно обусловленные, навязанные изменения темпа, масштаба, угловой амплитуды движения — все воздействия, очень болезненные для экстрапирамидных уровней. Как показывают наблюдения "пластичности нервной системы", этими актами очень легко приспособительно воспринимаются такие экзогенные воздействия и изменения, как, например, подвязывание одной из конечностей, надевание лонгеты, надевание (на здоровую конечность) протеза, замена одного орудия другим и т.п. Эти факты, тесно примыкающие к переключаемости, были уже подвергнуты разбору (см. гл. V). Круг внешних воздействий, безопасных в смысле сбивающего эффекта для действий уровня *D*, очень широк и не включает ничего особо характерного.

Более содержательна последняя часть нашего описания специфических признаков — *обзор внешних воздействий, обладающих избирательно наибольшим сбивающим эффектом* на отправления того или иного уровня построения; она представляет довольно разносторонний практический интерес. Утонченные изыскания в этом направлении, помимо обогащения сетки опознавательных признаков, должны дать целый ряд важнейших указаний на условия, содействующие *наибольшей стабильности* двигательных навыков различной структуры, а вместе с тем и на пути их рациональной и наиболее эффективной *стабилизации*. Пока и по этому вопросу может быть сказано не слишком много.

Двигательные фоны из *уровня палеорегуляций A* обнаруживают наибольшую лабильность прежде всего ко всем воздействиям, вызывающим *раздражения вестибулярного* (отолитового) *аппарата* уха и проистекающим из них тоническим шейно-туловищным реакциям. Толчки и сотрясения, пассивные повороты, несимметричные силы (например, ветра или статической нагрузки), односторонние температурные воздействия на кожу лица и шеи, резко неодинаковое освещение обоих глаз и т.п., как правило, сильно деавтоматизируют всякие движения по их компонентам из уровня *A*.

Следующая группа особенно ощутительных воздействий по этому уровню связана с изменениями *в тангорецепторике конечностей.*

Всем известно, как сильно сбивает движения замена привычной рукояти. Каждый мастер гораздо охотнее пойдет на смену рабочей части орудия, с которым он сработался, нежели на смену его хваточных элементов; черенок ножа ему дороже лезвия. Так же сильно сбивают те изменения осязательного поля, которые были только что перечислены как индифферентные по уровню пространственного поля: надевание перчаток, сухость кожи, вмешательство анталгических коррекций (см. выше) от местных болевых точек на исполнительном органе: мозолей, панарициев, ожогов и т.п. Наконец, сбивающее действие на фоны из уровня *A* совершенно бесспорным образом оказывает *время*, наоборот, очень мало эффективное в отношении компонент из уровня синергий.

Уровень синергий B, в свою очередь, обладает не менее характерной группой опасных для него внешних воздействий. Прежде всего сюда относятся *изменения рабочей позы*, формы и высоты сидения, высоты верстака или рабочего поля, размеров и габаритов орудия (рабочего орудия, музыкального инструмента,

гимнастического снаряда и т.п.), влияющих на расположение частей тела и формулу суставных углов. Кроме того, к воздействиям этого же рода принадлежит *смена исполнительного органа* — даже частичное изменение формы его участия в общем синергетическом акте. Далее, избирательно-сбивающее действие, судя по всему, оказывается экзогеннонавязанный *ритм*; движения из подуровня *C1* мирятся с ним хорошо, в то время как синергии явно предпочитают свой автохтонный ритм ad libitum. Наконец, сбивающий эффект по уровню синергий вызывается симультанным *включением другой синергии*; на такую дуплексную нагрузку у уровня синергий явно нехватает объема и распределения его "внимания".

Здесь должна быть упомянута еще одна комбинация. Для движений (и двигательных элементов действий), обладающих фонами из уровня синергий *B*, но свободных от фонов из *C2*, очень характерно то, что при хорошо освоенном навыке такие движения привычно текут без контроля зрения, *включение* же последнего производит на них *резко сбивающее действие*.

Для стриального подуровня *C1* пространственного поля характерны прежде всего два источника сбивающих воздействий: во-первых, навязывание ведущимся в нем движениям циклической *экзогенной метрики*, а во-вторых (вызванное соответственными сбивающими факторами), *ослабление* функции фонового рубро-спинального *уровня A*. Первая группа сбивающих воздействий иллюстрируется характерным, не раз упоминавшимся примером ходьбы по шпалам или по начерченным на полу разметкам. Что касается второй группы сбивающих факторов, то каждый, несомненно, замечал, как резко и избирательно сказывается отлежанность руки, ее переохлаждение, чем-либо вызванная кожная гипэстезия и т.п., прежде всего на двух основных качествах моторики подуровня *C1*: беглости и процессуальной точности. До какой степени невозможно, придя с холода, сразу приняться за работу, знает каждый музыкант-исполнитель, чертежник и т.п. Однако этот сбивающий эффект обусловливается не непосредственно значимостью тактильных и суставно-проприоцептивных афферентаций для управления движениями подуровня *C1*, а главным образом деавтоматизацией этих движений, вызванной нарушениями в рубро-спинальном уровне *A*, теснейшим образом связанном с подуровнем *C1*. Мы имели уже случаи видеть, как интимна связь обоих уровней в патологии, в частности в синдромах выпадений; эта же связь снова проступает и здесь, показывая, в какой решающей мере нуждаются координации подуровня *C1* в фундаментах из *A*.

Из области воздействий, уже выходящих за пределы повседневной нормы, необходимо упомянуть о весьма избирательном сбивающем действии на подуровень *C1* двух групп интоксикаций. Во-первых, сюда относится эффект *алкоголя* (расстройства стояния и ходьбы, нарушения точных движений из контингентов *C1*), а во-вторых, эффект отравления *вероналом*[1], дающим в этом же направлении еще более яркие и еще более четко избирательные нарушения ходьбы, письма, речи, всевозможных пространственных манипуляций и т.п.

Внешние воздействия, наиболее ощутительно сбивающие для движений и компонент верхнего подуровня пространственного поля *C2*, дают не менее яркое созвездие. На первом месте здесь мы поместим воздействия, *отвлекающие внимание*

[1] Аналогичные явления дают и другие барбитураты, но с вероналом они получаются в наиболее чистом виде.

субъекта: шум, разговор, привлечение внимания к чему-нибудь постороннему и т.п. Еще на двигательные акты нижнего подуровня *C1* такое отвлечение действует совсем мало, и они, как известно, очень легко текут машинально (ходьба, хорошо разученный музыкальный пассаж, привычный трудовой автоматизм и т.п.). По отношению же к низовым уровням *B* и *A* мы могли поместить фактор отвлечения внимания прямо в графу наиболее безопасных по сбивающему влиянию воздействий. По отношению к разбираемым движениям из *C2* очень характерно, что отвлечение внимания действует сбивающе не только на акты, самостоятельно ведущиеся на этом подуровне, но и на управляемые им фоновые автоматизмы для уровня действий, несмотря на то, что автоматизмы всегда текут вне поля сознания Иногда этот факт дает даже хороший признак для различения между собой двигательных отправлений из *C1* и *C2*.

Второй фактор, сильно дезорганизующий движения из подуровня *C2*, есть *изменение* в каком-нибудь смысле *зрительного контроля*, всегда решающе важного для отправлений этого подуровня. Так, сбивающе действует, например, контролирование своих движений вместо прямого зрения смотрением в зеркало или через оборачивающие призмы и т.п. Правда, свойственная обоим подуровням пространственного поля широкая пластичность очень быстро выравнивает возникающие здесь нарушения движений, и уже после небольшого упражнения они вновь хорошо автоматизируются. Опыты со сбивающим воздействием указанного рода должны быть рассчитаны на внезапность и неподготовленность. Еще сильнее, чем извращения зрительной афферентации, действует, разумеется, *полное выключение зрительного контроля.* Движения нижнего подуровня пространственного поля сбиваются от закрывания глаз в очень малой степени: например, ходьба (конечно, при условии исключения боязни на что-либо наткнуться), проведение линий, работа обеих рук на фортепиано и левой руки — на скрипке и т.п. Координации же пирамидного подуровня во многих случаях делаются просто невозможными, и не только те, которые по самой своей сути недоступны для слепых.

Заметно страдают, если и не обязательно сбиваются совсем, движения подуровня *C2* при сильном утомлении, сонливости, мигрени и т.п. Из прямо токсических сбивающих воздействий здесь могут быть упомянуты те, которые вызывают тем или иным путем ишемию мозга, например, окись углерода, высотная гипоксемия и т.д.

Наконец, *уровень действий D* не позволил пока уловить ни одной характеристической формы воздействия, которая влияла бы на управляемые акты избирательно сбивающим образом. Как и во всех других уровнях, движения уровня действий отвечают деавтоматизацией на переключение их в другой непривычный им уровень. Об этой форме деавтоматизации уже была речь выше (см. гл. VIII), но мы условились не включать ее в рассмотрение. Нарушение сбивающими воздействиями каких-либо фоновых автоматизмов действий, конечно, деавтоматизирует и самые действия, но эти нарушения нашли уже свое отражение при характеристиках сбиваемости самих этих низовых уровней. Сбивающего же эффекта каких-либо определенных вмешивающихся воздействий на ведущие коррекции уровня действий как такового до настоящего времени уловить не удается.

Таковы наблюдения, которые могли быть собраны в настоящее время по обрисовке и систематизации специфических уровневых признаков двигательных актов человека.

АКАДЕМИЯ МЕДИЦИНСКИХ НАУК СССР

Н. А. БЕРНШТЕЙН

ОЧЕРКИ ПО ФИЗИОЛОГИИ ДВИЖЕНИЙ И ФИЗИОЛОГИИ АКТИВНОСТИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «МЕДИЦИНА»
МОСКВА—1966

ОТ АВТОРА

Это собрание очерков составлено из работ автора, публиковавшихся на протяжении тридцати с лишним лет совместного труда с коллективом сотрудников и представляющих собой как бы ряд последовательных подытоживающих вех, ставившихся на этом пути.

В собранных здесь очерках автор не делает попытки осветить прогресс физиологии движений экстенсивно, вширь. За годы, прошедшие со времени Октябрьской революции, исследовательская работа по вопросам динамики многочисленных видов движений и биомеханики двигательного аппарата шла все более расширяющимся фронтом. Дать обобщающий обзор всего сделанного в указанном направлении советской наукой в экстенсивном плане — задача, назревшая и ждущая своего исполнителя. Цели, которые автор преследовал при составлении настоящего сборника, иные.

Прежде всего, это попытка проследить рост и развитие названной выше проблематики, так сказать, интенсивно, показать, как исследовательская мысль постепенно проникала в глубь структуры, организации и планирования целенаправленных двигательных актов и как в связи с этим она последовательно переходила от вопросов чисто внешней описательной биомеханики к вопросам центрального управления и структурирования движений в их развитии. Стремясь проникнуть еще глубже в актуальные сегодняшние проблемы, физиология движений не только сама перерастала в общую физиологию активности, но, несомненно, в известном смысле ферментировала общую исследовательскую мысль в направлении задач внутреннего моделирования и кодирования управляющих процессов. На этой ступени развития налицо уже прочный мост между физиологией движений и биокибернетикой.

Попутно казалось правильным констатировать и отметить неоспоримый приоритет отечественной научной мысли в смысле формулирования еще в начале 30-х годов нашего столетия таких понятий, как кольцевое управление по обратным связям, рефлекторное кольцо, внутримозговые перешифровки и др.

Во-вторых, сама последовательность очерков сборника в отношении их тематики направлена к тому, чтобы отразить тот путь неуклонного развития, по которому с начала нынешнего века двигалась отечественная и мировая физиология. Это путь постепенного смещения интересов от аналитического изучения базальных функций организма в состояниях покоя в сторону изучения человека в его активности, в труде и деятельности, целенаправленно преобразующей окружающий мир. Сейчас нам не приходится удивляться тому, что в учебниках и руководствах по физиологии прошлого столетия так мало внимания уделялось

физиологии двигательных актов. Наоборот, в наши дни именно эта ветвь физиологии, посвященная изучению той почти единственной категории процессов, посредством которых организм деятельно и направленно воздействует на окружающий мир (а не только взаимодействует с ним), все интенсивнее развертывается сейчас вширь и вглубь, к тому главенствующему месту в плане общей физиологии, какое принадлежит ей по праву.

За те несколько десятилетий, которые отделяют нас от начального периода нашей работы, неизмеримо выросли технические возможности регистрации и анализа жизненных, в частности двигательных, процессов. Современная физиология имеет на вооружении великолепные лабораторные ресурсы, о каких мы не смели и мечтать в 20-х и 30-х годах. Однако, как ни безмерно расширилась и уточнилась к нашим дням исследовательская техника по сравнению со скромной методикой кимоциклографии и циклограмметрии, обрисованной в двух первых очерках сборника, до настоящего времени не создано ни одного нового метода, который позволил бы регистрировать в пространстве и времени весь ход сложного двигательного акта по всему моторному аппарату тела сверху донизу. Для изучения той "переменной комплексности", о которой говорится в начале первого очерка, до сих пор нет другого средства, кроме циклографической фоторегистрации и ее несколько огрубленного варианта — кинографии. Важнейшим нововведением является лишь возможность комплексирующего обогащения заснимаемых фотодокументов движения путем совмещения с самыми разнообразными вспомогательными индикаторами, среди которых первое место занимает, конечно, электромиография.

Очерки, включенные в предлагаемое собрание, печатались частью в книгах и повременных изданиях, давно сделавшихся библиографической редкостью. Между тем они (не столько в отдельности, сколько в осуществленной здесь подборке) в известной мере еще представляют интерес. Извлечь их из забвения имело смысл уже потому, что именно они всего яснее способны показать, какими путями двигалась наша исследовательская мысль в попытках глубже проникнуть в строение двигательных актов и динамику их возникновения и развития.

На всех этапах своего развития концепции, отраженные в настоящем сборнике, наряду с признанием и поисками по их приложению к практике встречали немало принципиальных возражений и вызывали споры. Начиная с 1949 г. в печати появилось особенно много выступлений весьма авторитетных ученых, как физиологов так и философов, критически разбиравших и оспаривавших эти концепции с методологических позиций[1]. Поскольку настоящее собрание очерков

[1] *Асратян Э.А.* // Журн. высш. нервн. деятельности. 1963, Т. 5; *Булыгин И.А.* // Там же. 1964. Т. 14, вып. 1; *Крестовников А.Н.* // Теория и практика физ. культуры, 1949. N 5; *Крестовников А.Н.* // Там же. 1951. N 1; *Лехтман Я.Б.* // Вопр. психологии. 1958. N 5; *Лехтман Я.Б.* "Физиология активности" и высшая нервная деятельность // Тр. фак. физ. культуры и спорта при ГДОИФК им. П.Ф. Лесгафта. 1963. Вып. 23; Философские вопросы высшей нервной деятельности и психологии. М.: Изд-во АН СССР, (Е.В. Шорохова, В.М. Каганов. Философские проблемы психологии; А.Г. Воронин, Н.А. Шустин, Я.Б. Лехтман, А.А. Зубков, А.О. Долин, В.Н. Черниговский, А.М. Зимкина — выступления; Э.А Асратян и П.Н. Федосеев — заключительное слово); *Шпильберг П.И.* // Физиол. журн. СССР. 1953. Т. 39, N 1.

не имеет полемического характера и назначения, постольку ответы на все дискуссионные выступления наших виднейших ученых оказались бы в нем не у места. В настоящее время автором подготовляется для опубликования статья, специально посвященная разбору и освещению спорных позиций в области физиологии движений и физиологии активности. Частично ответы на важнейшие из принципиальных возражений, делавшихся автору, нашли отражение в докладе Ф.В. Бассина, Н.А. Бернштейна и Л.П. Латаша на X Всесоюзном съезде физиологов в Ереване (октябрь 1964 г.), текст которого будет опубликован в собрании трудов съезда.

Выражаю здесь мою признательность В.В. Лебединскому, оказавшему мне большую помощь в подготовке книги к печати.

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

Очерк первый

К ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЙ[1]

Интерес к человеческим движениям возник уже очень давно. Этюды по движениям человека наряду с интереснейшими наблюдениями по другой отрасли биомеханики — движениям животных — находятся в бумагах Леонардо да Винчи и относятся к концу XV в. Двумя столетиями позже в Лейдене вышла книга Borelli ("De motu animalium"), впервые приведшая в связную форму то немногое, что тогда было известно по биомеханике.

Систематическое экспериментальное изучение движений началось значительно позже. Первые фундаментальные работы в этом направлении — труды братьев W. и E. Weber — появились в начале XIX в. W. Weber и E. Weber положили много труда на экспериментальный анализ человеческой ходьбы. Их работы сохраняли свое значение и цитировались во всех руководствах очень долгое время — на протяжении всего столетия, пока одно важное обстоятельство почти внезапно и почти полностью не обесценило их.

Этим обстоятельством, огромное значение которого и до сих пор как следует не оценено, было изобретение и внедрение в науку моментальной фотографии.

Братья Weber могли экспериментировать лишь очень несовершенными способами. Они измеряли катетометрами и мерительными лентами все то, что удавалось подметить и уловить в мимолетной, быстро сменяющейся картине движения. Но все эти измерения не могли справиться ни с одной из трех важнейших переменных, учет которых необходим для верного понимания двигательного процесса. Эти три переменные суть: 1) переменная времени, 2) переменная пространства, 3) переменная комплексности.

Если точная регистрация времени сделалась доступной экспериментальной науке независимо от моментальной фотографии (но все же после братьев Weber) благодаря изобретению маятника Гельмгольца, кимографа Людвига и хроноскопа Гиппа, то две другие из упомянутых переменных и поныне остаются в полной вассальной зависимости от камеры обскуры и светочувствительного слоя. Мы не имеем другого способа, который мог бы потягаться с фотографическим в деле точного и главное быстрого измерения размеров и положений. В особенности же незаменимой фотография становится там, где дело касается измерения быстро меняющихся положений, фиксирования мимолетных фаз, переходящих

[1] Очерк заимствован из кн.: *Попова Т.С., Могилянская З.В.* Техника изучения движений / Под ред. Н.А. Бернштейна, М., 1935. Гл. I.

одна в другую и создающих в совокупности явление движения. Превосходство фотографии над всеми другими видами измерения пространства настолько признано сейчас практикой, что даже геодезия — король и рекордсмен точности всех наук об измерении пространства — полностью перешела в наше время на фотографический метод (аэрофотосъемки) для своих ответственнейших работ.

Что касается комплексности, то ни ее огромное значение для изучения физиологии животного организма, ни та решающая роль, которую по отношению к ней приобретает моментальная фотография, еще не оценены до настоящего времени научной практикой в полной мере.

Если изучаемый процесс представляет собой не кучу (или сумму), а организованное единство (или синтез) явлений, то и метод его экспериментальной регистрации должен быть не "кучей" методов, а единым методом, внутренне слитным, воспринимающим и оттеняющим не только отдельные составляющие процессы, но вдобавок к этому и их взаимную сочетанность, взаимодействие и живую связь. Нет сомнения, что когда-нибудь в распоряжении физиологии будет арсенал таких методов, но в настоящее время, на первых шагах практического осознания нужды в этой комплексности, она располагает всего одним методом — методом фоторегистрации. Эта начальная бедность, конечно, чрезвычайно суживает наши исследовательские возможности сравнительно с тем, чего мы вообще хотим и надеемся достичь. Зато области, для обслуживания которых фоторегистрация пригодна, несомненно, оказываются уже сейчас в выигрышном и передовом положении. К таким областям относится наука о движениях животных и человека.

В самом деле, помимо точности и отчетливости регистрации переменной пространства и мельчайших подразделений времени, фоторегистрация движений дает нам еще одно методическое преимущество: единовременное (симультанное) изображение движения множества точек и частей организма в их совместном протекании и взаимной связи. Простая кинолента, на которую заснято какое-либо движение обнаженного человека, содержит в себе одновременно в доступных измерению и соразмерных масштабах картину движения бесчисленного множества точек поверхности тела, весь кинематический комплекс этих движений. И если можно поставить что-нибудь в упрек такой фотозаписи (биомеханика и сделала вскоре этот упрек, как мы увидим ниже), то только то, что этих зарегистрированных точек слишком много. Но сделать шаг назад уже всегда легче, чем проделать обратное движение в сторону увеличения.

Успешное внедрение моментальной фотографии в науку о движениях произошло в 70-х годах прошлого века. В первой фазе этого внедрения фоторегистрация сама по себе была настолько пленительна для исследователя, что сделалась для него самоцелью. Главной задачей большого ряда работ, проведенных в тот период, было получение быстрых и верных действительности фотозаписей последовательных фаз живого движения. Начав с самых "робинзоновских" средств — мокрого коллоидного процесса при малосветосильных объективах, позволявших получать одни только силуэты (рис. 1, *не помещен. — Примеч. ред.*), американский исследователь Muybridge (1901) постепенно дошел до блестящих по технике съемок последовательных положений тела (рис. 2, *не помещен. — Примеч. ред.*). Аналогичные спыты проводил в Германии Anschütz.

Marey (1894, 1901) в Париже начиная с 80-х годов опубликовал в отчетах

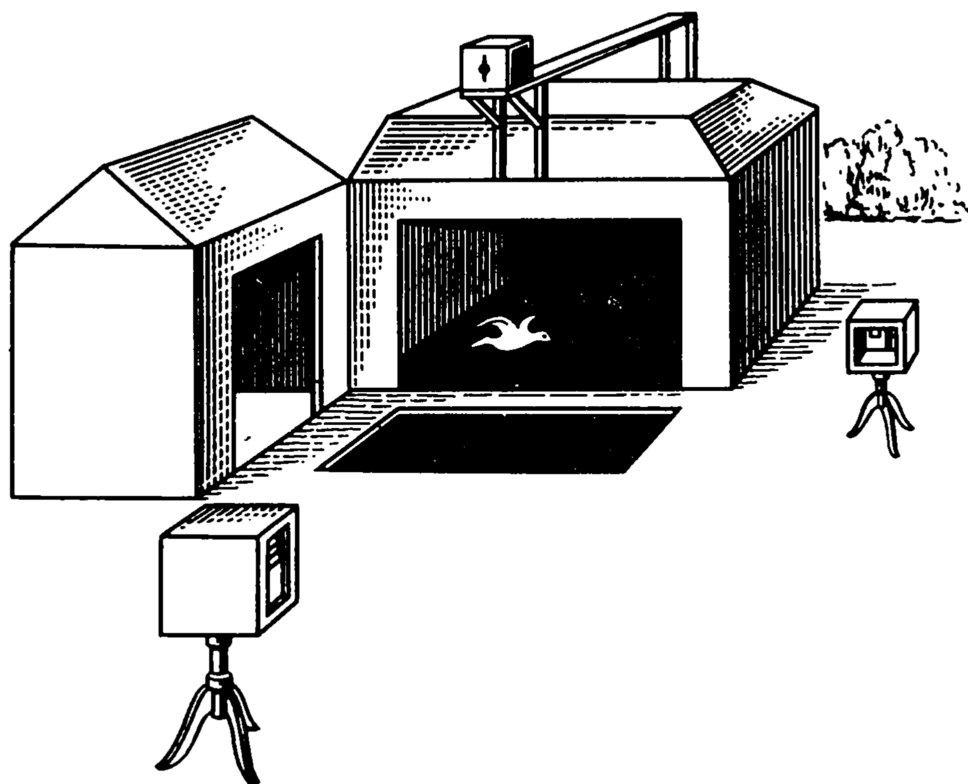




Рис. 7. Съемка полета голубя тремя камерами одновременно
Домики и яма на земле обеспечивают черный фон для каждого из снимков (Marey)

Рис. 8. Испытуемый Marey

Французской академии огромное количество работ, посвященных фотозаписи движений (рис. 3—6, *не помещены. — Примеч. ред.*). И каких только движений, каких только животных не было заснято в этот медовый месяц фотографии и физиологии! Marey снимал ходьбу, бег, прыжки и скачки, снимал лошадей, птиц, рыб в особых бассейнах. Ассистент его Bull дошел до виртуозного совершенства в сверхмоментальной съемке мелких предметов — насекомых, а впоследствии ружейных пуль. Marey увлекало все — движения крыла голубя, изучавшиеся им в трех измерениях одновременно (рис. 7) и утилизированные теоретической авиацией того времени движения плавникового плаща морского ската, стоячие волны в воде, перевертывание кошки, сброшенной с высоты ногами кверху.

Но пока моментальная фотография расцветала в науке как искусство для искусства, пока ассистент Marey спорил с братьями Lumière о первенстве в изобретении кино, Marey успел подойти к критической оценке сделанного им до этого времени и обратился к новым формам исследования, определившим собой вторую и чрезвычайно значительную фазу в развитии фотографического изучения движений.

С точки зрения внешнего блеска, количественного изобилия данных этот шаг Марея был отступлением. По существу, методологически это был решающий и крупный шаг вперед. Для исследования движений был пробит новый путь: с этого времени моментальная фотография вместо самоцели стала мощным средством физиологического анализа.

Marey ограничил число заснимаемых точек движущегося объекта. По началу это было сделано чрезвычайно просто. Отпечатлевается на снимке то, что светло, не отпечатлевается то, что черно. Marey зачернил все точки тела испытуемого, кроме тех, которые продолжали интересовать его. Он одел человека с головы до ног в черное трико (рис. 8) и на голову набросил капюшон. Из всей поверхности тела он оставил светлыми только узенькие полоски вдоль осей звеньев конечностей, да голову отметил светлой точкой. Полоски были сделаны из сереб-

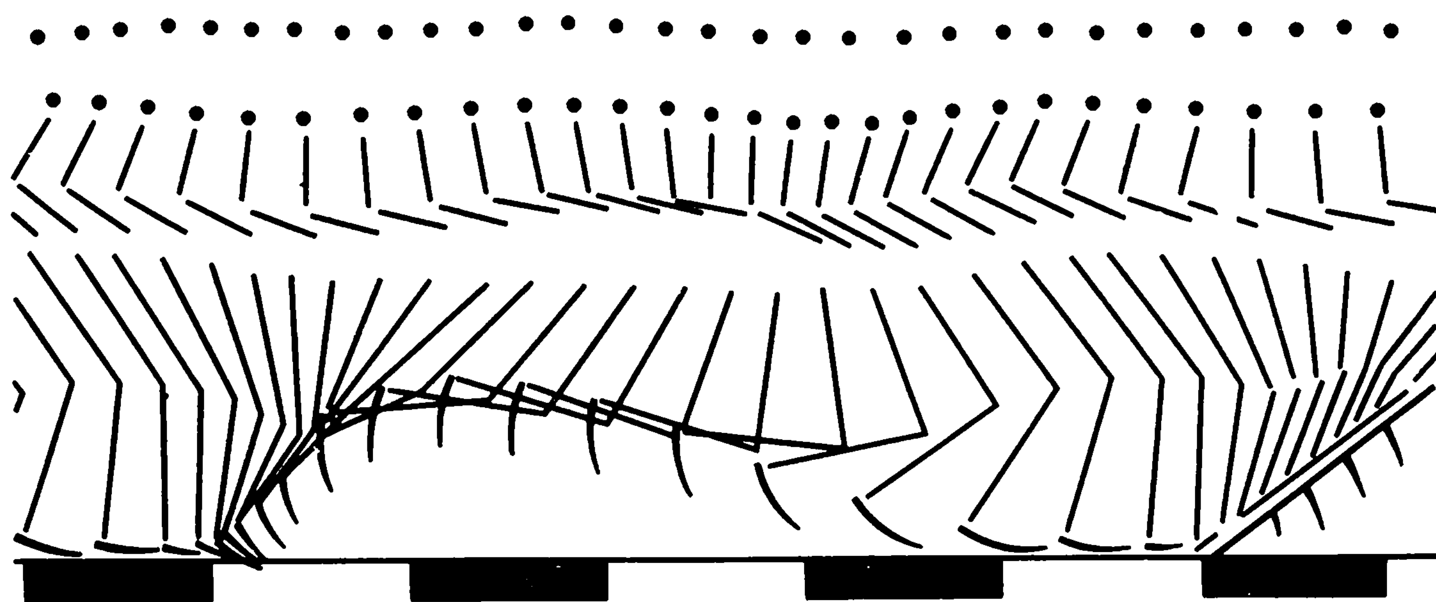


Рис. 9. Хронофотограмма бега Marey

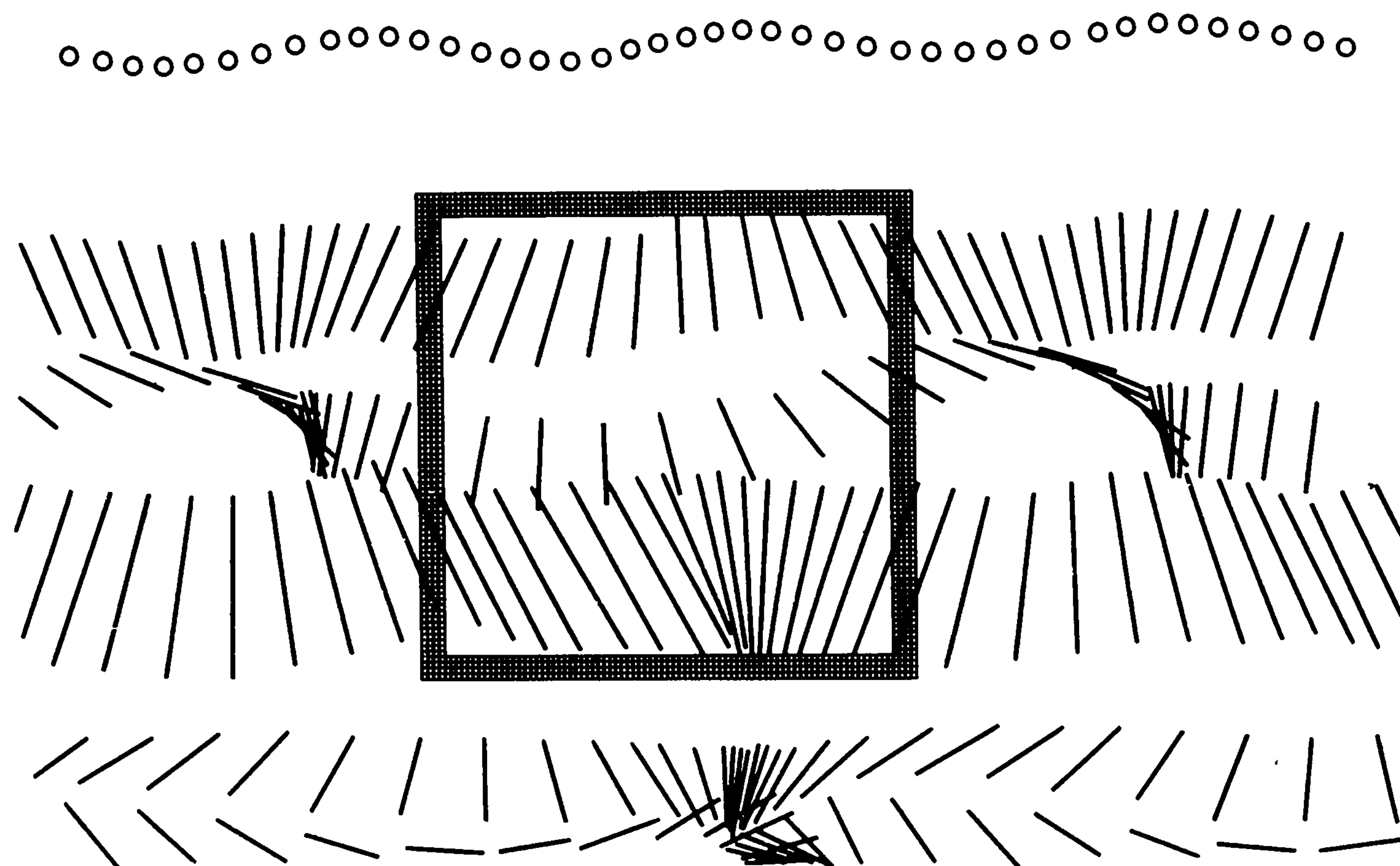


Рис. 10. Хронофотограмма ходьбы Braune и Fischer
Частота—26 снимков в секунду. Сантиметровый масштаб впечатан

ристой галунной тесьмы. Теперь на его хронофотографиях вместо полных фигур стали появляться палочковые схемы-человечки из спичек (рис. 9). Благодаря узости этих спичек он мог заснимать фазы движения гораздо более часто, не боясь, что одна фигура наложится на другую и смажет ее.

Технический выигрыш от этого нововведения значительный: исследователь получает от данного движения впятеро больше фаз за то же время. Но безо всякого сравнения важнее принципиальное значение мареевского изобретения. Разберем его.

Прежде всего (это ярче всего бросается в глаза) достигается значительная выгода в смысле доступности описания: описать или охарактеризовать каким-либо путем движение бесчисленного множества точек вообще невозможно. Уменьшив число заснимаемых точек, Marey *конкретизировал* свой объект: он выделил на теле ряд опознавательных пунктов и этим получил возможность наблюдать за их движением, не теряя их из виду. Если учесть еще увеличение *частоты* съемки, ставшее возможным при "палочковом" способе, то можно сказать,

что Marey потерял на числе наблюдаемых точек, но тем самым выиграл на детальности знакомства с движением каждой из оставшихся точек. Он схематизировал и урезал движущийся объект, но не процесс его движения.

Еще ярче сказываются преимущества мареевской схематизации для изучения кинематики движений, если пойти еще дальше в направлении этой схематизации объекта, как это и было сделано Marey и Demeny в дальнейшем. Если схематизировать человека в виде фигурки из прямых линий по типу рис. 8, то очевидно, что нет надобности заснимать эти прямые линии целиком. Всякая прямая определяется двумя точками, поэтому достаточно от каждой из прямых сохранить только ее точечные концы и вместо светлых тесемок снимать блестящие точки. В этой фазе был технически сделан новый шаг вперед. Для повышения яркости и контрастности снимка наклейки, светящиеся отраженным светом, были заменены точками, блестящими собственным светом, — лампочками накаливания. На снимках, полученных по этому способу (см. рис. 12), очертания объекта стушевывались еще более, но зато контуры движения, траектории избранных точек выступили особенно ярко. Хронофотография — съемка фаз во времени сменилась циклографией — съемкой текучего движения точек.

Однако еще важнее другой сдвиг, определившийся тогда же, при переходе от хронофотографии цельных фигур к палочковой хронофотографии и затем к точечной циклографии. Этот сдвиг не бросается сразу в глаза. Marey не суждено было осознать и сформулировать его. Эта заслуга целиком принадлежит другой, лейпцигской исследовательской школе, представленной двумя очень крупными талантами — анатомофизиологами Braune и Fischer (1895—1904).

Braune и Fischer использовали в принципе ту же технику, что и Marey, — съемку палочковых схем. Аппаратура их была несколько другая, было больше предосторожностей и экспериментальных тонкостей, но в конце концов получались те же палочковые хронофотографии (рис. 10). Braune и Fischer производили съемку одновременно четырьмя камерами с разных сторон и обставляли дело так, чтобы сделать свои снимки измеримыми и получать по ним действительные пространственные координаты изучаемых движущихся точек. Но эти авторы не ограничивались одной только кинематической картиной движения: они ввели в экспериментальную биомеханику еще и динамику — исследование действующих усилий.

Динамическое усилие определяется в механике как произведение ускорения на массу движущегося тела. Ускорение целиком принадлежит к кругу понятий кинематики, и определить его по хронофотографии или по циклограмме не представляет принципиальных затруднений. Другое дело — масса. Эта переменная не вошла в тот перечень переменных, доступных для фотографии, которым я начал эту главу. Определить массу по циклограмме нельзя. Значит, необходимо искать ее другим путем. Иначе придется отказаться от всякого динамического анализа и ограничиться одной внешней картиной движения, чисто пространственно-временной, бестелесной, по существу своему призрачной. Но еще до измерения масс биомеханик должен решить важный вопрос: какие же собственно массы следует ему измерить?

Для большей ясности возьмем в качестве испытуемого червя или медузу. Каждая частица, каждая точка их тела испытывает ускорения, следовательно, находится под действием интересующих биомеханика сил. Но ведь ускорение всех этих точек у названных гибких, бескостных животных различно. Таким

образом, нужно узнать массу каждой отдельной мельчайшей частицы тела этих животных и все эти массы поодиночке перемножить с ускорениями соответствующих частиц. Сходная по существу картина имеет место и у человека. И здесь кинолента дает нам картину движений бесконечного множества точек поверхности человеческого тела. Все эти точки имеют различные ускорения. Значит, массы всех их нужно было бы, строго говоря, определять по отдельности. Такая задача явно превышает человеческие силы.

Однако сходные в одном отношении движения медузы и движения человека существенно различны в другом. Человек имеет жесткий скелет, которого лишены названные выше беспозвоночные. На протяжении конечностей и головы скелет этот особенно жесток. Только туловище является значительно более гибким и нестойким по форме сооружением. Это обстоятельство дает путь к гораздо более простой характеристике движений частиц конечностей и головы человека, нежели тот путь, которым пришлось бы идти при изучении биомеханики мягкотелых.

Можно рассматривать движение каждой частицы конечностей человека как геометрическую сумму двух одновременно совершаемых движений: 1) движения данной частицы по отношению к некоторому среднему положению ее на данном звене и 2) движения самого этого среднего положения вместе со всем звеном, причем это среднее положение (как и подобает всякому среднему) будет уже неизменяемо связано с жесткой осью звена.

Для того чтобы яснее представить себе это, предположим такой вполне аналогичный случай. Мы хотим описать перемещение лица, едущего в плацкартном вагоне из одного города в другой. Для нас будет очень удобно рассматривать это перемещение как геометрическую сумму: 1) перемещения данного лица по вагону относительно принадлежащей ему койки и 2) движения самой койки, жестко связанной с вагоном и уносимой вместе с ним по направлению, указанному в билете. Степень интереса, какую будет представлять для нас та или другая слагающая, будет, разумеется, зависеть от точки зрения, с какой мы подойдем к описанию взятого случая. Но очень вероятно, что если интересоваться данным перемещением с точки зрения механики, то первая слагающая окажется настолько ничтожной по сравнению со второй, что ею можно без всякого ущерба пренебречь. Ни путь, проходимый вдоль вагона длиной 15—20 м, ни скорость хождения 3—4 км/ч не выдержат сравнения с сотнями километров пробега и десятками километро-часов скорости вагонной койки.

Теперь нужно только удостовериться, можно ли и в какой мере сохранить количественную аналогию между обоими разобранными случаями, т.е. можно ли пренебречь первой слагающей в случае движения частицы конечности. Здесь все дело зависит от избранной для анализа точки зрения. Если задаться целью исследовать механику движения конечности, то поставленный сейчас вопрос обратится в следующий: насколько меняется положение центра тяжести (статический момент) и момент инерции звена от возможных изменений формы этого звена?

Что касается возможной изменчивости массы звена в целом, то она может зависеть (в сравнительно короткие промежутки времени) только от изменений крове- и лимфонаполнения. Об этих изменениях можно заранее сказать, что на протяжении тех кратчайших интервалов (несколько секунд), с которыми имеет дело хронофотография, они не будут иметь заметного значения.

До настоящего времени на изложенный вопрос нет достоверного экспери-

ментального ответа. Пока можно воспользоваться приблизительными данными и теми сведениями о движении человека, какие мы сейчас имеем, и высказать следующие положения:

1. При изучении биомеханики крупных, размашистых движений человека можно без большой ошибки принимать голову и длинные звенья конечностей за жесткие, неизменяемые тела, т.е. пренебрегать относительными смещениями их мягких частей.

2. По отношению к туловищу такое допущение явно приводит к слишком заметной ошибке, чтобы пренебречь ею безоговорочно. Но так как пока не удается найти ни одного способа для устранения этой ошибки, все же можно рискнуть (с полным сознанием приблизительности получаемых результатов и только в том случае, когда доминирующую роль в движении играют конечности) принимать и туловище за жесткое звено, т.е. считать его центр тяжести несмещаемым, а момент инерции — неизменным на протяжении данного изучаемого движения.

Вот эти-то два положения (в несколько иной формулировке) и были выдвинуты Braune и Fischer в качестве предпосылок к определению масс. Раз сделав изложенные допущения, можно уже, во-первых, поставить на реальную почву вопрос о том, какие именно массы надлежит определять, а во-вторых, можно на этот раз уже не только с кинематически-описательной, но и с динамической точки зрения свести изучение механики движений человека к исследованию его палочковой схемы.

Я не буду останавливаться здесь на тех чрезвычайно ценных и до сих пор вспомогательных измерениях масс, моментов инерции и положений центров тяжести, которые были произведены Braune и Fischer. Скажу только, что указанные вспомогательные измерения куда ценнее и имели гораздо большее значение для развития науки о движениях человека, нежели собственно хронофототографические исследования этих авторов. Измерения Braune и Fischer заслуживают высокой оценки, несмотря на количественную скудность изученного ими материала и то, что они были выполнены на замороженных трупах, а не на живом человеке. Только в последнее время недостаточность данных Braune и Fischer начинает чувствоваться все острее. Как уже сказано, наша лаборатория работала с 1931 по 1935 г. над заменой их более достоверными и точными.

Итак, шаг вперед Braune и Fischer сводится к тому, что они восприняли палочковую схему человека не только как удобный прием для описания внешней, чисто геометрической картины движения, но и как действительную схему механической структуры человеческого тела, позволяющую легко измерить и выразить на математическом языке динамику движений на основании материала, доставляемого хронофотограммой.

По сокращенной шарнирной схеме (рис. 11) человеческое тело разбивается на следующие 14 звеньев, предполагаемых жесткими, если об этом не делается дальнейших оговорок:

	Голова	
Плечо		Плечо
Предплечье		Предплечье
Кисть		Кисть
	Туловище	
Бедро		Бедро
Голень		Голень
Стопа		Стопа

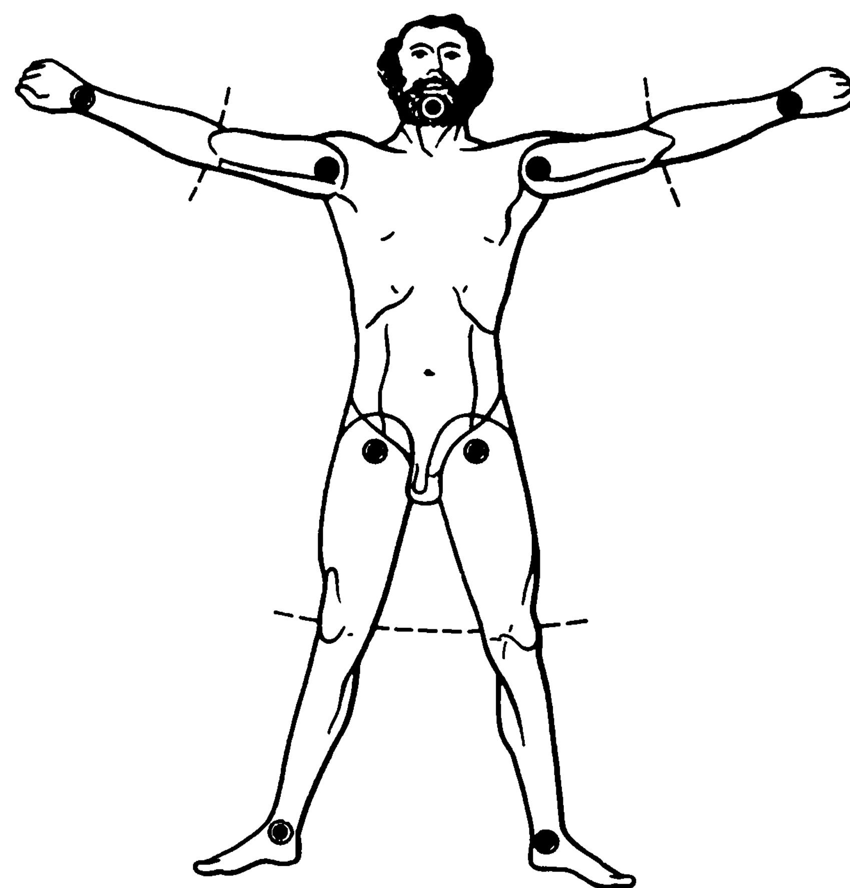


Рис. 11. "Сокращенная схема тела" по Braune и Fischer

Каждому из этих звеньев присваивается определенная постоянная масса и постоянное же положение центра тяжести. Относительно центра тяжести туловища и права на признание последнего жестким звеном мной уже была сделана оговорка. Что касается кисти руки, то Braune и Fischer дают положение ее центра тяжести для средней покойной позы ее при согнутых пальцах. Для движений, сопряженных с изменениями позы кисти, это определение явно не годится. Если движение совершается большими тяжелыми органами тела, то смещениями центра тяжести внутри кисти можно пренебречь, поскольку ее масса вообще мала по сравнению со всеми прочими массами, участвующими в движении.

Со смертью Fischer около 1907 г. исследования лейпцигской школы прекратились. В наследство от нее остались богатые, изумительно точные материалы по структуре и кинематике органических сочленений, описанные выше измерения относительных масс, статических моментов и моментов инерции звеньев и систем тела, и огромное шеститомное исследование человеческой ходьбы по хронофотографическому методу — первое в истории циклограмметрическое исследование движения. В этих шести томах Fischer (Braune умер вскоре после начала опытов) проанализированы с чрезвычайной тщательностью три акта ходьбы — фактически три хронофотограммы, каждая из которых состояла, однако, из четырех негативов размером 18×24 см, полученных, как выше указывалось, одновременно в четырех камерах, стоявших с разных сторон от испытуемого. Не следует, впрочем, думать, что способность написать шесть томов о трех циклограммах свидетельствует об исключительном глубокомыслии Fischer. После той высокой хвалы, какую я воздал ему в предшествующем изложении, память его не будет оскорблена правдивым упоминанием о его недостатках. Fischer просто необычайно многословен. Его книги о ходьбе в общем малоинтересны, и их содержание можно было бы полностью изложить на шести—семи печатных листах.

Книги Фишера произвели на научную публику впечатление того удручающего, обескураживающего почтения, которое является всегда верным залогом того, что работа в этом направлении не будет продолжаться. Изумительная точность и тщательность. Измерения при помощи микроскопа специальной конструкции, обработка материалов в течение 8 лет, шесть томов печатного текста — все это ради анализа трех актов ходьбы одного испытуемого. Можно было бы предсказать заранее, что чем больше будет преклонение перед мужеством этого отважного путешественника по Арктике науки, тем меньше найдется охотников повторить его научное предприятие. Так и случилось. Продолжателей не нашлось, циклограмметрия замерла.

Анализ этой гибельной кропотливости очень поучителен. Сравнивая методику,

применявшуюся Fischer, с современным состоянием техники циклограмметрии, мы можем сказать, что его работа была подобна работе кустаря-кружевника или ковровщика, считавшего себя счастливым, если ему удавалось создать за день 1—2 дм^2 драгоценной ткани. Эта кустарность поражает на каждом шагу при изучении работ Fischer, кустарность не внешняя, потому что для него делалась по особым заказам сложная и дорогая аппаратура, а именно внутренняя, так сказать, принципиальная кустарность. Fischer не дошел еще до потребности рационализировать, механизировать, упростить свое производство. Точнейшие, громоздкие до педантизма приемы измерения чередуются у него с очень грубыми, примитивными, зачастую просто ненадежными графическими приемами анализа, и Fischer не замечает, что неточность этих приемов делает совершенно ненужной, зря потраченной всю предшествующую кропотливость. Никто не станет, вычисляя длину окружности $2\pi R$, брать для перемножения π с 20 десятичными знаками, если измерение R надежно только до второго знака. Между тем это самое, только в менее явной форме делает Fischer. Можно сказать, что его теоретические предпосылки куда выше, чем его же практическое осуществление их.

Так или иначе, работы Фишера не находили продолжателей в течкение 15—20 лет. Циклография в ее новейшей, мареевской, форме с лампочками накаливания, несравненно более легкой и удобной, нежели методика гейслеровских трубок Braune и Fischer, уцелела только в самом примитивном виде. Там и сям применялась она как оригинальный иллюстрационный прием для характеристики того или иного рационализаторского мероприятия на капиталистическом производстве (Gilbreth, 1909, 1917; Thun, 1922, 1923; Townsend, 1919), там и сям всплывала наряду с ней и старинная хронофотография полных фигур (Frémont), но ни тот ни другой прием в иллюстрационном отношении не мог и дерзать состязаться с кино. Кино сделалось монопольным инструментом для моментальной фоторегистрации. Киносъемочные аппараты стали необходимой принадлежностью каждой серьезной лаборатории.

Кинорегистрация снова возвращает нас к эпохе полных хронофотограмм и устраняет основной прогрессивный принцип, введенный в науку о движениях Marey, Braune и Fischer, — принцип сокращенной точечно-палочковой схемы. Киноснимок безупречно нагляден, но он неизмерим и не потому, что кадры его мелки или грейферный механизм в настоящем виде его несовершенен, а прежде всего потому, что киноснимок лишен тех опорных точек, которые выделяют в движении основное и, отбрасывая все ненужное и второстепенное, обеспечивают самую возможность анализа. Вот почему мы сосредоточили все свое внимание на циклограмметрическом методе. Разумеется, циклограмму, годную для обработки по излагаемым ниже методам, можно получить и при помощи киносъемочного аппарата[1], но кино при этой процедуре, очевидно, потеряет характерные специфические особенности.

[1] Например, кинематография человека с надетыми на него лампочками или с намеченными в избранных пунктах поверхности его тела светлыми точками. Последний прием особенно тщательно разработан А.А. Стуколовым под названием кинографии.

* * *

В дореволюционной России исследование движений проводилось мало. Замечательные и во многом оригинальные работы П.Ф. Лесгафта по динамической анатомии, несмотря на их большой интерес, все же непосредственно не связаны с физиологией движений. Если назвать еще полный наблюдательности и остроумия, но, к сожалению, не подкреплявшийся экспериментами "Очерк рабочих движений человека" И.М. Сеченова, то этим исчерпывается все, что имелось в этом направлении до Октябрьской социалистической революции[1].

Пионерами опытного изучения движений в Советском Союзе и первыми, начавшими разрабатывать циклографическую технику, были К.Х. Кекчеев и Н.П. Тихонов (1923), начавшие свои опыты с 1920 г. в Центральном институте труда. На следующий год к ним присоединились А.П. Бружес, А.А. Яловый (1924) и автор. С этого времени исследование двигательных актов человека развивалось все более расширяющимся фронтом как по числу научных работников и лабораторий, включившихся в эту проблематику в Москве, Ленинграде, Тбилиси и др., так и по количеству объектов изучения. На здоровых нормальных субъектах был исследован целый ряд трудовых процессов: станочные работы, работа молотком, опиловка, движения водителей транспорта, переноска тяжестей, движения музыкантов-исполнителей и многое другое. Очень разносторонне были исследованы локомоторные движения — ходьба, бег, прыжок, коньки, даже плавание. Первые два вида обстоятельно изучались в их возрастном развитии, а бег и прыжки, движения лыжников, футболистов и т.д. — в исполнении сильнейших мастеров спорта. Патологические нарушения движений и их восстановление исследовались на материале невропатологии, а особенно детально и углубленно — на лицах, подвергшихся ампутации верхних и нижних конечностей. Эта опись далеко не полна, но уже способна дать представление о том, насколько велик был охват материала, изучавшегося в обсуждаемом направлении.

Необходимо упомянуть о том, насколько обогатился за последние годы арсенал вспомогательных средств, которые оказалось возможным применить к анализу движений наряду с фотографическими методами. Важнейшим из них, безусловно, надо признать метод электромиографии с того момента, как были разработаны средства для регистрации мышечных потенциалов без специальной экранировки исследуемого при движениях с большими амплитудами, как ходьба (Я.Л. Славуцкий), велосипедная езда (Л.В. Чхаидзе, 1958—1961) и т.п. Ведя электромиографическую запись одновременно и синхронизированно с цикло- или киносъемкой, авторы смогли получить богатый физиологический материал по двигательной координации.

Далее, современная техника предоставила в распоряжение исследователей большое количество видов датчиков, компактных и точных, которые также оказалось возможным использовать в комплексе с циклографией и кинематографией. Сюда нужно отнести гониометрические датчики для регистрации суставных углов, тензометры для замера механических напряжений всякого

[1] Упомяну здесь для полноты еще двух авторов, работы которых долго оставались в безвестности и не оказали поэтому влияния на общее развитие физиологии движений: Г. Грдыня, давшего ряд совершенно абстрактных математических выкладок, и К.Э. Циолковского, этюд которого о механике движений не был тогда опубликован.

9. Зак. 4414

рода, акцелерометры для непосредственной записи ускорений и т.п. В самое последнее время находит все более широкое применение телеметрическая техника регистрации на радиосвязи. Если принять во внимание, что в зарубежной литературе послевоенного периода совершенно не встречается серьезных экспериментальных работ по исследованию движений [исключением являются только работы Drillis (1933, 1958, 1959) по геронтологии], то можно смело сказать, что в этой области советская наука продолжает занимать то ведущее положение, которое прочно закрепилось за ней начиная с 20-х годов.

И бедность списка работ по физиологии движений на протяжении всего XIX в., и то ничтожное внимание, которое уделяется этой области в учебных руководствах (по инерции, к сожалению, вплоть до нашего времени), не случайны. То и другое необходимо поставить в связь с общим ходом развития физиологической науки. Как будет подробнее показано в очерках третьего раздела, с начала нашего столетия центр интереса физиологии неуклонно перемещается от изолированных функций к отправлениям целостных функциональных систем, от состояний покоя (естественного или создававшегося искусственно обезглавливанием или наркозом) к состояниям деятельности и, наконец, от физиологии животных к физиологии человека в его активности в труде или спорте. Не требует большой аргументации то, что для физиологии двигательных актов не находилось места в исследовательских программах прошлого века, но что связанные с ней проблемы стали приобретать все возрастающий интерес в наши дни.

Путь развития советской науки о движениях человека отмечен двумя последовательно пройденными ступенями, которые прогрессивно углубляли ее общефизиологическую значимость и позволили увидеть в ней путь к существенно новой и актуальной биологической проблематике. Она начала с биомеханики, с того уровня, который достался ей в наследство от работ Braune, Fischer, Harless и их немногих современников, и с узко прикладного направления рационализации и нормализации трудовых движений, наметившегося в Америке у развивателей тэйлоризма F. Gilbreth и L. Gilbreth. Постепенное уточнение методики и энергичное расширение круга изучавшихся объектов помогли, однако, вскрыть в движениях нечто значительно более глубокое, чем их чисто внешняя биомеханическая картина. Движения оказались *индикатором внутренних процессов* управления и регуляции, несравненно более глубоким и многосторонним, чем какие бы то ни было рефлексы. Биомеханика стала перерастать в физиологию двигательных актов.

Чем дальше, тем в большей степени за вопросами управления текущими процессами движения стали, однако, вырисовываться вопросы становления и развития двигательных актов в филогенезе, раннем онтогенезе, развитии умений и сноровок и т.п. На первый план стала выдвигаться проблема причинной обусловленности движений, их зарождения и внутреннего планирования. По сути, это была общая проблема инициативы в приложении к той почти единственной форме жизненных отправлений, посредством которой организм не только взаимодействует с окружающим миром, но и *активно воздействует* на него, добиваясь в нем изменений в том направлении, какое ему потребно. Физиология двигательных актов тем самым подводила исследователей к новому направлению — к физиологии *активности,* перерастающей уже сейчас в еще болшее широкую форму общей биологии активности. Проблема физиологии активности — это

проблема антиэнтропического преодоления среды, проблема поиска и предваряющего планирования своих действий, а тем самым общая проблема оптимизации организмом условий для своего роста и закономерного развития. В последующих очерках этой книги постепенный путь, проделанный наукой о движениях, будет обрисован в меру сил и умения автора.

Необходимо остановиться здесь же, хотя бы в немногих словах, на широком круге очень успешных опытов практического использования циклограмметрии в применении к задачам трудовой и спортивной педагогики. Начало этим опытам положено было доктором биологических наук Л.В. Чхаидзе, вообще чрезвычайно много сделавшим для преподавания и применения биомеханики к задачам практики. Идея этого вида опытов состояла в подаче показаний педальных тензометров при велосипедном педалировании на экран осциллоскопа, помещенный в поле зрения исследуемого на велоэргометре. Это мероприятие переключало сигнализацию об усилиях педалирующих ног с проприоцептивного канала на зрительный, обладающий в одно и то же время большей точностью и большей осознаваемостью воспринимаемых им сигналов. В концепции Л.В. Чхаидзе это являлось вместе с тем переключением с внутреннего коррекционного кольца на внешнее, связанное с организованными по-другому кортикальными приборами сличения. Такая вре́менная деавтоматизация двигательного акта на том этапе его развития, когда настоящие автоматизмы еще не могли успеть вработаться и закрепиться, не вносит в вырабатываемый навык никаких нарушений, а при этом способствует тому, чтобы автоматизации подвергались как раз наиболее совершенные механизмы управления двигательным актом. Может быть, особенно важно то, что обучающийся, которому перед опытом были показаны конфигурации динамических осциллограмм лучших мастеров, значительно быстрее вырабатывает в себе правильные навыковые формы, чем при старых способах обучения и тренировки "вслепую". Эта методика была заимствована и использована также работниками ЦНИИФК в Москве (В. Муравьев, В. Девишвили) в применении как к велосипедному педалированию, так и к другим видам легкоатлетических упражнений со столь же отчетливым успехом.

Замечательные результаты использования той же идеи "наглядной осциллоскопии" были получены в последние годы И.Н. Яровым при обучении подростков операции опиловки. Обнаружилось, что труднейшая для начинающих задача управления — выдерживание горизонтальности направления и хода напильника с постепенной передачей нажимного усилия от одной руки к другой при описанном методе обучения осваивается и быстрее, и с достижением значительно более высокой точности, чем при тренировке прежними способами. Наконец, нельзя не упомянуть также о тех успешных результатах, какие получаются при подаче на экран электромиограмм работающих мышечных групп, создавая возможность сознательного самоконтроля в отношении времен вступления и дозировки усилий мышц-участниц того или иного сложного навыкового акта. Этот путь оказался очень плодотворным как в отношении спортивных движений, так и в отношении координации при движениях в протезах верхних и нижних конечностей (Я. Славуцкий). Не может быть сомнения, что прикладное использование и методов физиологии движений при современной высокой аппаратурной технике, уже оправдавшее себя в различных областях, вплоть до тренировки космонавтов (О.Г. Газенко, Л.В. Чхаидзе), имеет большую будущность.

Очерк второй

ЦИКЛОГРАММЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД

Плоскостная проекция движения. Школа Marey (Bull, Gastine, 1897) сменила линейные изображения на точечные, для чего на изучаемых точках тела испытуемого укреплялись миниатюрные лампочки накаливания. Это видоизменение, подхваченное американцами (Gilbreth, 1909; Таунсенд, 1919) и немцами (Thun, 1922), получило наименование циклографии. Московская биомеханическая школа довела циклографическую технику до значительно большего совершенства по сравнению с теми формами, в каких она применялась на Западе. Отсюда современное состояние циклографии целесообразнее всего охарактеризовать, основываясь на работах именно этой школы (Попова, Могилянская, 1934).

Типичная циклограмма ходьбы, сделанная в 1929 г., приведена на рис. 12.

На пункты тела исследуемого, подлежащие засъемке, насаживаются маленькие электролампочки (рис. 13, *не помещен. — Примеч. ред.*). В крайнем случае можно воспользоваться лампочками для карманных фонариков, но лучше работают крошечные газонаполненные лампочки со спиральной нитью, дающие идеально точечные изображения, поскольку их нить имеет длину всего 1 мм. Чаще всего лампочки помещают над центрами сочленений. Ток (напряжением 3—5 В) подводится к лампочкам через тонкие шнуры от надетого на исследуемом поясе. К последнему же он подходит через длинный шестижильный шнур — "хвост", имеющий 20—80 м длины, следовательно, не мешающий никаким движениям, даже бегу, и исходящий из электрораспределительного щитка экспериментатора. Можно снабжать лампочки током и от сухих батареек, надетых на самом исследуемом, но тогда ими нельзя будет управлять на расстоянии, что часто бывает очень важно.

Циклограмма плоскостного переместительного движения (например, ходьбы или бега) снимается на неподвижную пластинку, помещенную в обыкновенный фотоаппарат. Если заставить исследуемого совершать движение с зажженными лампочками перед открытым объективом такого фотоаппарата, то перемещение каждой лампочки изобразилось бы на снимке одной сплошной кривой. Для того чтобы разбить изображение движения на отдельные последовательные фазы — получить хроноциклограмму, съемка ведется через быстро вращающийся затвор (обтюратор, рис. 14, *не помещен. — Примеч. ред.*), который открывает объектив на очень короткое время через равномерные интервалы несколько десятков или сотен раз в секунду. Открывая объектив, обтюратор допускает в него лучи от всех циклолампочек сразу, сколько бы их ни было в поле зрения, и сразу же обрезает их все при новом закрывании объектива. Поэтому точки всех пунктиров (см. рис. 12), на которые обтюратор разбивает изображения лампочковых траекторий, строго соответствуют друг другу по времени. Если соединить прямыми линиями соответствующие по времени точки смежных траекторий, то получаются схемы последовательных поз движения, совершенно подобные хронофотограммам Marey и Fischer (рис. 15; рис. 16, *см. рис. 6 в кн. 1 — Примеч. ред.*). С помощью обтюратора легко получить частоты до 600 в секунду, т.е. больше, чем дает лупа времени Дебри. Выше этой частоты идти уже трудно, так как точки траекторий начинают сливаться друг с другом. Добавочных приспособлений,

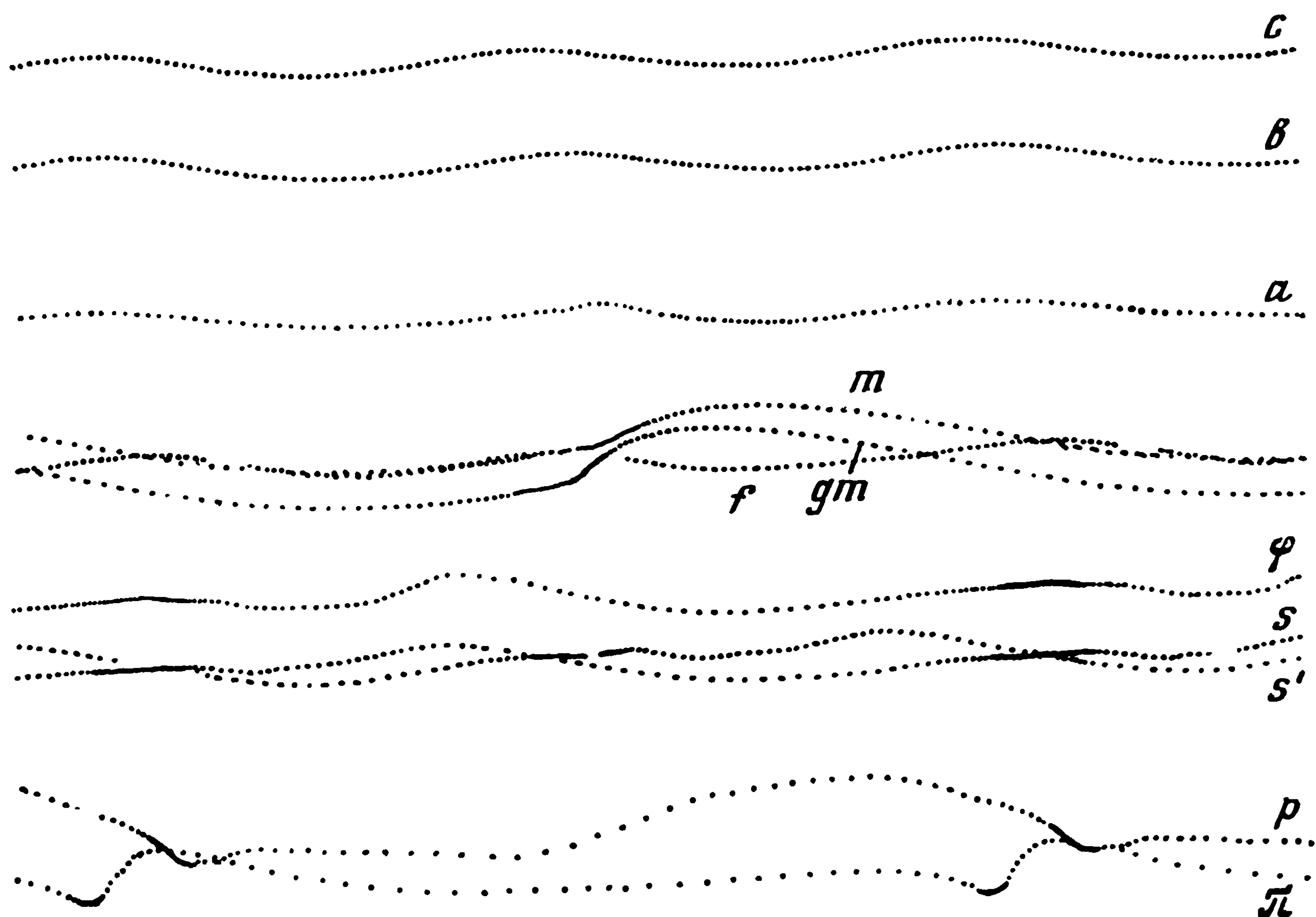


Рис. 12. Циклограмма ходьбы (Н.А. Бернштейн и Т.С. Попова). Левая сторона тела, движение справа налево

Траектории сверху внизу: *с* — центр тяжести головы; *в* — плечевое сочленение левой руки; *а* — локтевое сочленение левой руки; *т* – лучезапястное сочленение левой руки; *gт* – центр тяжести кисти; *f* – тазобедренное сочленение левой ноги; φ — точка на протяжении оси левого бедра; *s* – коленное сочленение левой ноги; *s'* — коленное сочленение правой ноги; *р* — голеностопное сочленение левой ноги; π — точка близ кончика стопы. Частота — 90 снимков в секунду (Институт охраны труда, 1929 г.)

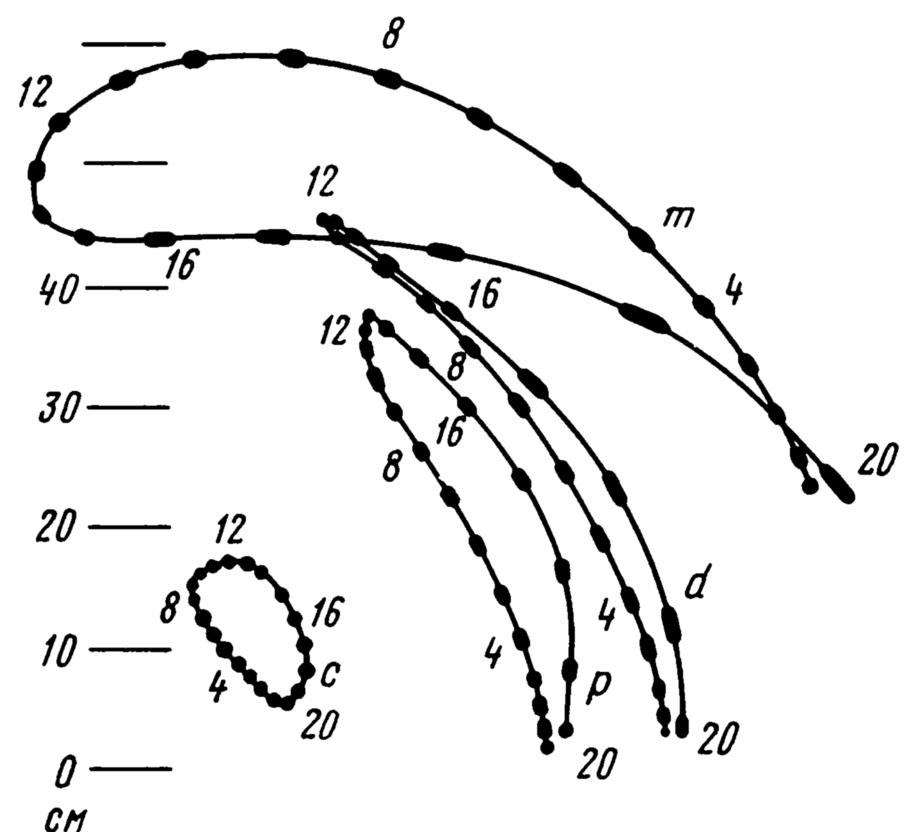


Рис. 15. Циклограмма удара молотком при рубке зубилом

Обозначения траекторий: *т* – центр тяжести молотка; *d* – центр тяжести кисти; *р* — лучезапястное сочленение; *с* — локтевое сочленение. Частота — 30 снимков в секунду (Центральный институт труда, 1923 г.)

применяемых для наиболее надежного распознавания соответствующих точек смежных траекторий, мы здесь касаться не будем.

Циклография в описанном виде плохо применима к изучению циклических запутанных движений, к каковым относится большинство трудовых процессов: при этого рода движениях изображения лампочковых траекторий дадут на неподвижной фотопластинке запутанные, неразборчивые клубки. Для устранения этого недостатка циклография заменяется предложенной Н.А. Бернштейном и А.А. Яловым (1924) кимоциклографией, т.е. циклографической съемкой на медленно и равномерно перемещающуюся пленку. Циклоизображение мелкого возвратного движения развертывается при этом на пленке в волнообразную кривую (рис. 17, *см. рис. 29 в кн. 1. — Примеч. ред.*), всегда легко читаемую. Приняв во внимание собственное движение пленки (что достигается очень простыми способами) и вычтя его из полученной на снимке кривой, наблюдатель получает на основании кимоциклограммы столь же точные и неискаженные данные о протекании движения, как и те, что даются для простейших движений обычной циклограммой.

Стереоскопическая запись движений. И циклография, и кимоциклография дают при названных выше способах применения лишь плоскостную проекцию снимаемого движения. Для возможности суждения о глубинных перемещениях приходится обращаться к некоторым осложняющим приспособлениям. Перемещения какого-либо объекта в пространстве, иначе говоря, изменения всех трех пространственных координат этого объекта, могут быть зарегистрированы при наблюдении не менее чем с двух различных точек зрения. Braune и Fischer фотографировали ходьбу одновременно с четырех пунктов отдельными независимыми камерами. В наше время многим исследователям импонирует более всего стереоскопическая съемка, т.е. съемка двумя объективами с параллельными оптическими осями. Однако легко показать, что точность определения глубинной координаты тем выше, чем дальше друг от друга стоят обе точки наблюдения, т.е. в нашем случае оба стереоскопирующих объектива. При обычно свойственном стереоскопу расстоянии между осями объективов, равном 6,5 см, точность измерения глубинной координаты слишком мала. Приходится расставлять стереобъективы на значительно большее расстояние друг от друга, измеряемое десятками сантиметров. Такое раздвигание влечет за собой чрезмерное различие полей зрения обеих камер в силу параллельности оптических осей их объективов. Вследствие этого более выгодной оказывается съемка движения двумя камерами не с параллельными, а сходящимися (конвергирующими) оптическими осями объективов. Этого рода установка применена была Дриллисом (Drillis, 1930). Для синхронизации он помещал обтюраторы обеих далеко отставленных друг от друга камер на одной общей длинной оси. Московская биомеханическая школа избрала другой путь, оказавшийся несравненно более удобным и точным. Разработанная автором этой книги в 1928—1929 гг. "зеркальная методика" позволяет получить две резко различные точки зрения, пользуясь всего одним аппаратом, а следовательно, и одним обтюратором.

Для этого в поле зрения аппарата под некоторым углом к оптической оси его объектива ставится большое плоское зеркало безукоризненной шлифовки. Зеркало ставится так, чтобы в поле зрения аппарата движущийся объект изучения был виден дважды: а) непосредственно и б) отражаясь в зеркале (рис. 18). Зеркало



Рис. 18. Обстановка зеркальной кимоциклосъемки
Исследуемая перфористка на машине "Пауерс". Слева — зеркало с масштабом и номером очередного снимка (Институт охраны труда, 1929 г.)

заменяет вторую, удаленную точку зрения: если, например, оно расположено под углом 45° к главной оптической оси объектива, то даваемая им точность равноценна точности конвергирующей съемки двумя камерами, раздвинутыми на удвоенное расстояние от камеры до зеркала. Строго говоря, точность зеркальной съемки еще несколько выше, так как здесь не приходится беспокоиться ни об идеальной пригонке двух объективов, ни о тщательной установке их главных осей, что решающим образом важно при конвергирующей двухкамерной съемке.

Материал, получаемый при помощи зеркальной кимоциклографии, далеко оставляет за собой по точности все то, что может быть получено посредством других существующих сейчас способов регистрации движений. Кимоциклограмма позволяет получить несколько сот фаз движения в секунду, причем измерение временнóго интервала между смежными фазами может быть выполнено с точностью до миллионных долей секунды. Умело снятая зеркальная кимоциклограмма дает и хорошую пространственную точность не ниже 1 мм по любой из трех зеркальных координат. Однако наиболее важное достоинство описанного сейчас в самых общих чертах метода заключается в той легкости, с какой получаемый им материал поддается количественному анализу и механической расшифровке.

Фоторегистрация движения не есть цель исследования, она только его средство, обеспечивающее возможность приближения к действительной цели изучения — физиологическому и биомеханическому анализу двигательного процесса.

Методы анализа циклограмм. Для расшифровки следует прежде всего измерить полученный снимок движения. Измерять положения циклографических точек на самом пленочном негативе трудно. Кроме того, это будет очень неточно. Fischer измерял свои негативы под специальным микроскопом, что также неудобно и недостаточно точно в силу малого поля зрения объектива. Московские биомеханики пользуются для измерений методом фотопромеров, предложенным В.И. Лаврентьевым. С цикло- или кимоциклонегатива делается крупное фотографическое увеличение, причем одновременно с ним на бумагу наносится фотографическим же путем миллиметровая или даже полумиллиметровая сетка. По такому фотопромеру легко с очень большой точностью прочесть координаты всех циклографических точек (рис. 19, *не помещен. — Примеч. ред.*). Эти координаты и есть тот основной сырой материал, для получения которого были необходимы все охарактеризованные выше приспособления и из анализа которого может быть затем почерпнуто максимальное количество сведений о протекании заснятого движения. Недостаток кинематографического способа регистрации и состоит именно в том, что по киноснимку координаты получить гораздо труднее и достижимая в нем точность значительно ниже.

По координатному материалу исследователь может прежде всего восстановить последовательные положения звеньев тела в пространстве, которые они занимали от мгновения к мгновению во время циклографического снимка (рис. 20). Имея график таких последовательных положений, он может далее легко измерить суставные углы, опять-таки во всех оттенках их постепенных изменений. Координатный материал, полученный из зеркальной кимоциклограммы, позволяет получить все желаемые проекции последовательных фаз изучаемого движения: "увидеть" его и спереди, и сбоку, и сверху. Такое наблюдение дает сведения об общем объеме или размахе движения, об амплитудах движения отдельных точек тела, о пределах изменений суставных углов, о расположении траекторий движения по отношению к окружающим предметам и о форме этих траекторий.

Изменения каждой координаты движения по времени могут быть представлены в виде кривой. Такая кривая с особенной отчетливостью воспроизводит характерные особенности движения. Еще выразительнее выявляются эти черты в кривых изменения скоростей движения, которые также могут быть получены на основании координатного материала с помощью очень простого процесса. Очень несложным путем могут быть получены также кривые угловых скоростей движений звеньев.

Чрезвычайно большое, подчас решающее значение имеет анализ действующих сил, которые обусловили данное движение. Первые шаги в направлении учета таких сил по хронофотограмме были сделаны Braune и Fischer, указавшими и путь к достижению этого учета. Из хронофотограммы или из циклограммы невозможно получить данные о силах непосредственным путем. Однако же из них, а именно из упомянутых только что кривых скоростей, можно получить значения ускорений тех или иных точек тела. Динамические же силы измеряются как произведения ускорений на массы ускоряющихся частей. Именно таким путем, определив тем или иным способом массы звеньев тела, возможно перейти от ускорений, определяющихся из циклограммы, к действующим усилиям. Как видно будет из дальнейшего изложения, силовой анализ движения и сопоставление данных об усилиях с данными о протекании движения под действием этих

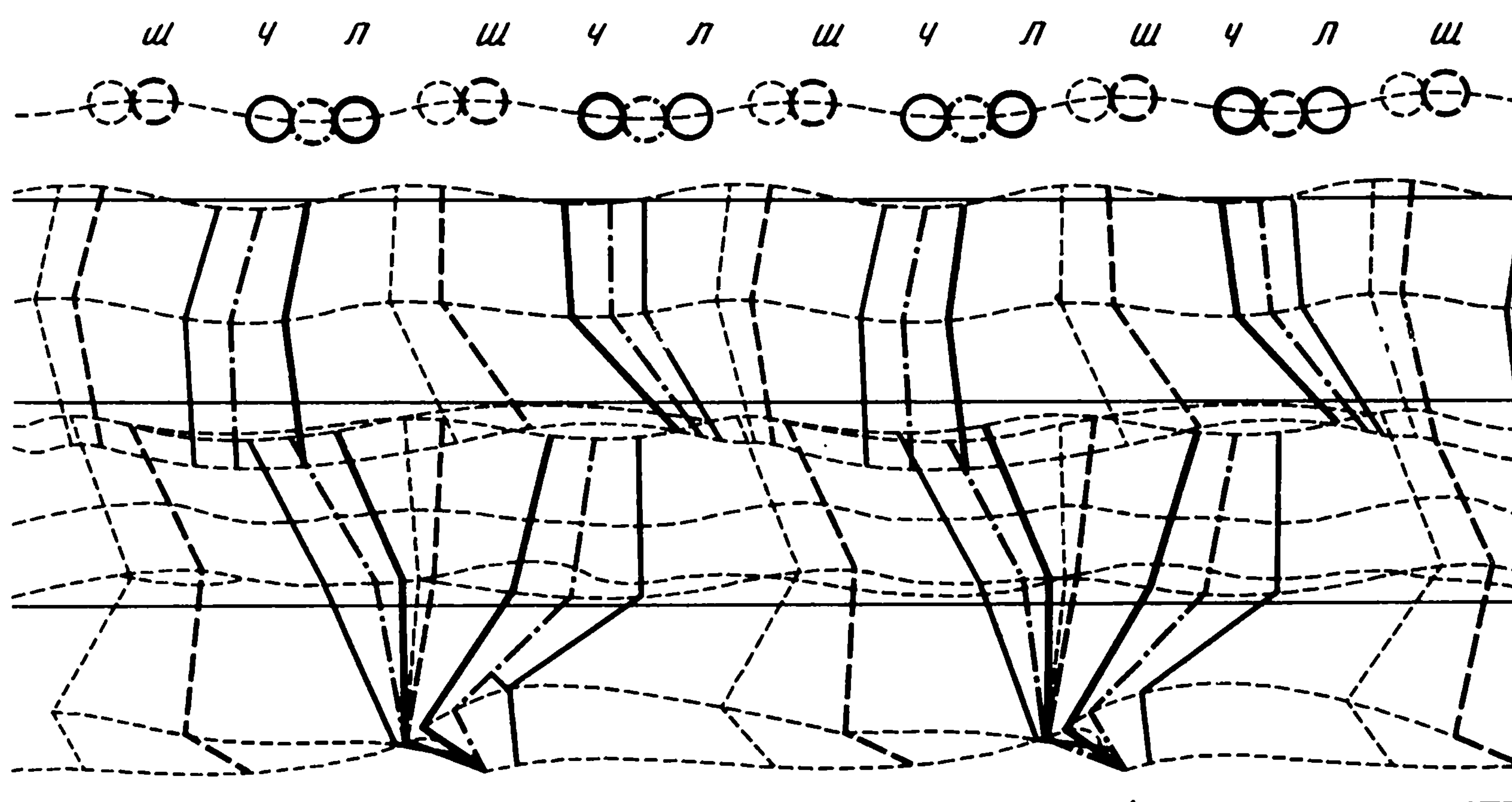


Рис. 20. Фотопромер циклограммы ходьбы с врисованными в него основными фазами ходьбы Частота — 90 снимков в секунду (Институт охраны труда, 1929 г.)

усилий дают наиболее яркую, проникающую далеко вглубь биомеханическую и физиологическую характеристику двигательного процесса.

Циклограмметрическая техника расшифровки и анализа фотодокументов движения была настолько полно разработана к середине 30-х годов, что за весь протекший с тех пор период времени обогатилась лишь незначительно. Как одно из существенных достоинств этой техники[1], нужно отметить применение к анализам методики номограмм, для которых были выработаны приемы расчета, построения и использования в циклограмметрии. Номография позволила полностью "автоматизировать" (т.е. свести все вычисление к наложению на шкалы прямой линейки) нахождение значений действительных пространственных координат *x, y, z* по зеркальным циклодокументам с любым расположением зеркала, а при этом с любым желаемым началом координат и направлениями осей, свела к столь же элементарным операциям расчеты угловых положений и межзвенных углов звеньев тела по их концевым координатам (Зальцгебер, 1948) и т.д.

Важнейшие нововведения по технике регистрации двигательных актов и мышечной деятельности были уже перечислены выше. Нам остается упомянуть здесь о нескольких интересных усовершенствованиях последнего времени в самой циклографии. Для обеспечаения разборчивости циклограмм сложных движений с перепутывающимися траекториями световых точек был предложен остроумный способ использования разноцветных лампочек и съемки на пленку для цветной фотографии, что стало возможным благодаря огромно́му прогрессу в светосиле фотооптики и высокой светочувствительности кодахромовских и агфаколор пленок (Drillis). Неудобство, связанное с необходимостью вести циклосъемки в затемненном помещении или ночью, было успешно устранено при помощи

[1] Эта техника наиболее подробно изложена в кн.: *Попова Т.С., Могилянская З.В.* Техника изучения движений. М.: Стандартизация и рационализация, 1934.

стробоскопии. Пространство, в котором движется исследуемый, освещалось сильными прожекторами прерывисто через отверстия того же обтюратора, который обеспечивал и разбивку циклографических траекторий на точки. При этом пропускание света прожекторов и открывание объектива фотокамеры *чередуются* с частотой циклосъемки 80—100 раз в секунду, так что происходит полное слияние мельканий и исследуемый ощущает освещение как непрерывное. В объектив же не попадает никакого света, кроме испускаемого циклолампочками. Для той же цели прменялся и поляризованный свет.

Следует упомянуть, наконец, о так называемой методике *кинограмм,* обстоятельно разработанной А.А. Стуколовым (1960). Кинодокумент субрапидной частоты — 48 или 64 кадра в секунду — оказался удобным для замера по нему важнейших переменных из числа тех, которые позволяет получать циклография. Это делает съемку движений (трудовые, спортивные, патологически нарушенные и т.п.) в форме, пригодной для циклограмметрического анализа, широко доступной для каждого тренера, инструктора или врача, имеющего в своем распоряжении хотя бы любительский киносъемочный аппарат.

Очерк третий

ПРОБЛЕМА ВЗАИМООТНОШЕНИЙ КООРДИНАЦИИ И ЛОКАЛИЗАЦИИ[1]

1. Основное дифференциальное уравнение движения

Зависимость между движениями, с одной стороны, и вызывающими их иннервационными импульсами — с другой, принадлежит к числу чрезвычайно сложных и притом далеко не однозначных. Я уже подвергал анализу эту зависимость в ряде предыдущих работ (1926, 1927, 1929, 1934) и здесь дам лишь краткий конспект тех положений, которые можно в настоящее время считать прочно установленными. Этот конспект послужит введением к тем дальнейшим соображениям, которые составляют главный предмет настоящего очерка.

Мера напряжения мышцы есть функция, во-первых, ее иннервационного (тетанического и тонического) состояния E, а во-вторых, ее длины в данный момент и скорости, с какой эта длина изменяется во времени. В интактном организме длина мышцы есть, в свою очередь, функция сочленовного угла α, поэтому момент действия мышцы на сочленение мы можем написать так:

$$F = F(E,\ \alpha,\ d\alpha/dt). \qquad (1)$$

С другой стороны, можно утверждать, что угловое ускорение звена, управляемого данной мышцей, прямо пропорционально моменту мышцы F и обратно пропорционально моменту инерции звена I.

[1] Очерк опубликован в журнале "Архив биологических наук" (1935. Т. 38, N 1).

Таким образом,

$$d^2\alpha/dt^2 = F/I. \quad (2)$$

Если на звено действуют, кроме мышцы, еще и другие источники сил, то положение несколько усложняется. Ограничимся для простоты одной только внешней силой, именно тяжестью. В разбираемом сейчас простейшем случае движения одного звена по отношению к неподвижному второму момент тяжести G есть, как и момент мышцы, функция сочленовного угла α:

$$G = mf(\alpha), \quad (1a)$$

где m обозначает массу звена. Угловое ускорение звена под действием обоих моментов вместе выразится уравнением

$$d^2\alpha/dt^2 = (F + G)/I.$$

Если в это уравнение подставить выражения (1) и (1a) для F и G, то мы получим зависимость следующего вида:

$$I(d^2\alpha/dt^2) = F(E, \alpha, d\alpha/dt) + G(\alpha). \quad (3)$$

Это есть фундаментальное уравнение движения одного звена в поле тяжести под действием одной мышцы, иннервированной до состояния E. В тех случаях, когда движущаяся система состоит не из одного, а из нескольких звеньев и когда приходится принимать в расчет деятельность нескольких мышц, уравнение (3) чрезвычайно усложняется, притом не только количественно, но и качественно, потому что в дело вступают механические влияния одних мышц на другие, а момент инерции становится переменной величиной. Однако при всем получающемся здесь усложнении, настолько огромном, что уравнение по типу (3) не всегда может быть написано для этого случая даже в самом общем виде, физиологическая сторона дела меняется от этого мало и осложнение затрагивает основным образом лишь математическую и механическую стороны движения. Поэтому в настоящем контексте можно ограничиться рассмотрением лишь простейшего уравнения (3).

Это основное уравнение есть дифференциальное уравнение второго порядка, которое может быть проинтегрировано, если известны функции F и G. Решения такого уравнения, т.е. определения того движения, которое будет иметь в данном случае место, будут различными в зависимости от так называемых начальных условий интегрирования, т.е. от начального положения звена, определяемого углом α_0, и от начальной угловой скорости звена $d\alpha_0/dt$. Изменяя различным образом эти начальные условия, мы можем получить различные двигательные эффекты за счет одного и того же управляющего закона (3), т.е. при одних и тех же функциях F и G.

Прежде всего необходимо отметить, что уравнение (3) прямо указывает на циклический характер связи между моментом мышцы F и положением звена α. Звено меняет свое положение *оттого*, что на него действует силовой момент F, а момент этот, в свою очередь изменяется *оттого*, что изменяется угол α. Здесь имеет, таким образом, место *кольцевая цепь* причин и следствий.

Эта цепь представляла бы собой идеальное кольцо, если бы момент (уравнение 1) зависел только от α и от $d\alpha/dt$, т.е. если бы движение было совершенно пассивным (например, падение руки). В том же виде, в каком уравнения (1)

и (3) приведены в этой статье, величина F зависит еще от меры возбуждения мышцы E, появляющейся в них явным образом из области, лежащей вне описанного сейчас круга. Здесь могут, очевидно, иметь место две возможности: мера возбуждения E зависит от величин α и $d\alpha/dt$ (вполне либо частично) или никак не зависит от них и является лишь функцией времени t.

Выбор между двумя указанными здесь возможностями имеет, очевидно, огромное физиологическое значение, которое может быть с достаточной ясностью выявлено лишь в дальнейшем изложении. Сейчас я укажу лишь на некоторые следствия каждого из упомянутых допущений.

Если мера возбуждения E есть функция положения и скорости, но не функция времени, то уравнение (3) приобретает вид классического дифференциального уравнения

$$I\,d^2\alpha/dt^2 = F[E(\alpha, d\alpha/dt), \alpha, d\alpha/dt] + G(\alpha), \qquad (3a)$$

частные интегралы которого зависят только от начальных условий. В этом случае, следовательно, движение не может не наступить, если только созданы (извне) требуемые начальные условия, а начавшись, обязано протекать далее с той же ненарушаемой правильностью, с какой колеблется струна, отведенная до точно определенного начального положения и затем отпущенная. Очевидно, что это допущение не соответствует физиологической действительности и фактически вполне игнорирует роль центральной нервной системы.

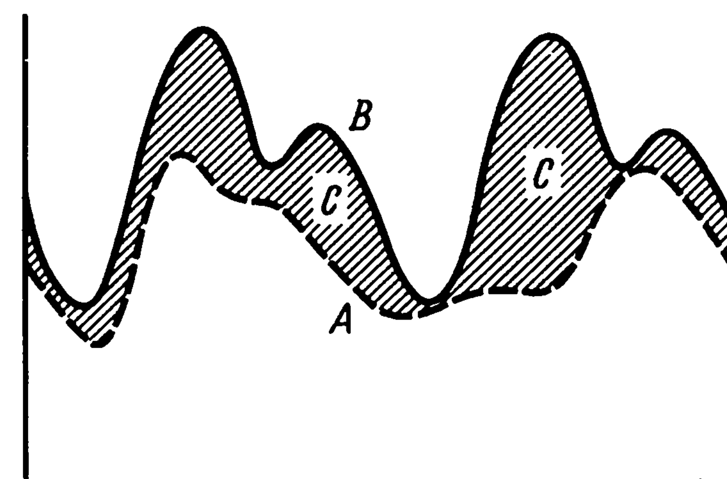
С другой стороны, можно допустить, что мера возбуждения есть величина, изменяющаяся по какому-либо закону во времени исключительно под действием импульсов центральной нервной системы и без всякой зависимости от местных условий, разыгрывающихся в системе изучаемого нами движущегося звена. Если первое допущение, сопоставленное выше со случаем упругого колебания струны, уподобляет мышцу своеобразной пружине или резиновому жгуту, то по второму допущению она может быть представлена в виде соленоида, втягивающего свой сердечник в зависимости исключительно от силы тока, направляемого в соленоид из внешнего источника. Закон изменений силы этого тока должен быть представлен в системе нашего уравнения (3) как функция времени: каковы бы ни были действительные причины этих изменений, самые изменения преподносятся системе (3) в совершенно готовом и независимом виде как нечто бесспорно данное. Уравнение (3) приобретает в этом случае вид

$$I\,d^2\alpha/dt^2 = F[E(t), \alpha, d\alpha/dt] + G(\alpha), \qquad (3b)$$

не поддающийся никакому конкретному решению.

Здесь важно указать на следующее. Несмотря на то, что мера возбуждения E, как допущено, не зависит от α и $d\alpha/dt$, момент мышцы F по-прежнему зависит от них. В то же время, как указано уже выше, действие этого момента, т.е. вся картина протекания движения, будет различным в зависимости от начальных условий, которые точно так же никак не входят в выражение меры возбуждения E и, следовательно, никак не влияют на протекание ее изменений во времени. Отсюда следует, что общий результат взаимодействий по уравнению (3b) вообще не может быть предусмотрен и предуказан, поскольку изменения возбуждения оказываются втянутыми в игру сил и зависимостей, которые никак не могут повлиять на дальнейший ход этих изменений, совершающийся по постороннему закону. Движение, построенное по типу (3b), будет по необходимости *атактично*.

Рис. 21. Полусхематическое изображение протекания одиночного центрального импульса при ритмическом движении
A — неритмическая кривая изменений внешних сил; *B* — суммарный ритмический результат; *C* (заштрихованная площадь) — импульс, дополняющий кривую *A* до результата *B*



Итак, нам остается принять, что возбуждение мышцы E есть и функция времени, и функция положения и скорости, и должно быть введено в уравнение (3) в виде

$$I\,d^2\alpha/dt^2 = F[E(t, \alpha, d\alpha/dt), \alpha, d\alpha/dt] + G(\alpha). \qquad (3c)$$

Этот чисто аналитический вывод функциональной структуры мышечного возбуждения чрезвычайно легко поддается физиологическому истолкованию. Зависимость переменной E от времени, вытекающая из абсурдности противоположного предположения (3а), есть та слагающая причина изменений возбуждения, которая прямым образом обусловлена деятельностью двигательных отделов центральной нервной системы. Зависимость же ее от положения звена α и его угловой скорости $d\alpha/dt$ есть очень хорошо знакомый физиологу проприоцептивный рефлекс. Из предыдущего анализа следует, что и положение, и скорость обязаны в равной степени и независимо друг от друга влиять на изменения меры возбуждения мышцы. Действительно, оба эти влияния точно установлены физиологически.

Обращаясь к клиническому кругу понятий, можно утверждать, что (3а) есть уравнение движения центрально парализованной конечности, а (3b) — уравнение движения в случае проприоцептивной атаксии.

Итак, мы констатировали в основном уравнении движения суперпозицию двух циклических связей различных порядков, обладающих и различной топикой. Первая циклическая связь есть взаимная обусловленность положения α и момента F и осуществляется чисто механически, как уже упоминалось выше. Вторая связь, надстроенная над ней, есть такая же взаимная обусловленность положения α (а равным образом и скорости) и меры возбуждения E. Эта связь протекает рефлекторно и обусловливается деятельностью центральной нервной системы.

Легко представить себе принципиальное значение изложенного выше общего вывода. Старое привычное представление, implicite, принятое и до сих пор сохранившееся у многих физиологов и клиницистов, рисует скелетное звено вполне покорным центральному импульсу и однозначно повинующимся ему. По этому представлению центральный импульс *a* всегда вызывает движение *A*, импульс *b* — движение *B*, из чего далее легко строится представление о двигательной зоне коры как о распределительном пульте с пусковыми кнопками. Между тем уравнение (3*b*) показывает, что один и тот же импульс $E(t)$ (игнорирующий периферию) может дать совершенно различные эффекты за счет игры внешних сил и изменчивости начальных условий. Уравнение (3с) показывает, наоборот, что один определенный эффект движения возможен лишь в том случае, если центральный импульс E в разных случаях будет очень различным, являясь функцией положения

и скорости звена и участвуя в дифференциальном уравнении, решающемся разно для разных начальных условий. Пародируя известное изречение о природе, можно сказать, что motus parendo vincitur (движение покоряется повиновением).

Следует указать, что внешнее силовое поле далеко не всегда исчерпывается одной только силой тяжести $G(\alpha)$ и даже в случае этой последней далеко не всегда входит в основное уравнение в столь простом виде. Поскольку оно необходимым образом влияет на положение и скорость системы, а эти последние в норме влияют на изменения E, постольку приходится сказать, что parendo центральных импульсов вынуждено заходить иногда очень далеко. Им приходится приспособляться к изменениям всех внешних и внутренних сил, имеющих место в системе, причем в общем силовом балансе движения силы, не зависящие прямым образом от действия импульса E, могут нередко занимать преобладающее место. В этих случаях (рис. 21), если для требуемого движения нужна смена сил в сочленении по типу кривой B, а равнодействующая сила внешнего поля протекает по кривой A, то центральной нервной системе приходится взять на себя лишь компенсирующий добавок C, могущий не иметь даже отдаленного сходства с контурами кривой B и зачастую значительно меньший, нежели действие внешнего поля A. Косвенным образом такие добавочные компенсаторные импульсы поддаются иногда циклограмметрическому наблюдению.

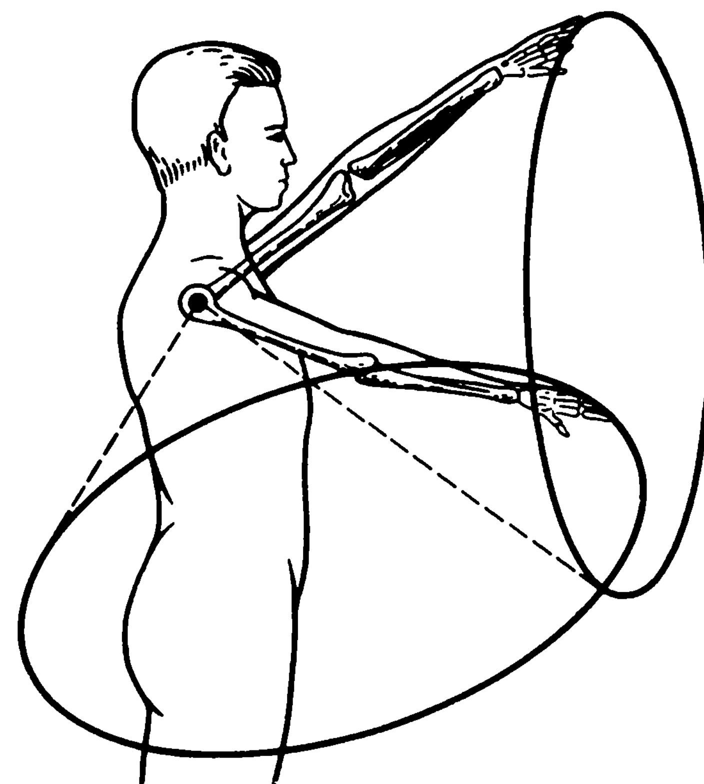
Итак, не вдаваясь в подробности, можно сказать: а) что однозначной связи между импульсом и движением нет и не может быть; б) что связь эта тем дальше от однозначности, чем сложнее та кинематическая цепь, которая приводится в движение, и в) что движение возможно лишь при условии тончайшего и непрерывного, *непредусмотримого заранее согласования центральных импульсов с явлениями, происходящими на периферии тела* и зачастую зависящими от этих центральных импульсов в количественно меньшей степени, нежели от внешнего силового поля.

2. Целостность и структурная сложность живого движения

В сокровищнице экспериментальной физиологии имеется огромное количество опытных наблюдений и фактов, характеризующих протекание одиночного импульса или простейшей совокупности импульсов. Обстоятельнейшим образом изучены все оттенки возбуждения, торможения, парабиоза, хронаксии и т.п. на одиночном нервном пути. По изучению совокупного или системного действия импульсов мы имеем к настоящему моменту только два крупных приобретения: принцип реципрокности Шеррингтона и принцип доминанты А.А. Ухтомского. Но даже эти группы данных все еще очень далеки по затрагиваемой ими области от вопросов изучения структуры движения как целостного образования.

Между тем именно эта целостная слитность движения и есть наиболее характерный признак того, что мы подразумеваем под двигательной координацией. Факт этой слитности мог быть прослежен в очень многих экспериментальных случаях, и во всех таких случаях он обнаруживает очень глубокие спайки и корреляции отдельных частей целостного процесса. Наиболее простое и всего легче наблюдаемое явление, относящееся к данной категории, — это явление постепенного и плавного *перераспределения напряжений* по мышечным массивам, особенно выразительное в случаях филогенетически древних или же высоко

Рис. 22. Круговые движения выпрямленной руки в разных расположениях при одинаковой форме траекторий совершаются различными иннервационными схемами



автоматизированных движений. Мышца никогда не выступает в целостном движении как изолированный индивидуум. И активное повышение напряжения, и сопутствующее ему (реципрокное) торможение в антагонистической[1] подгруппе не сосредоточиваются в норме на одном анатомическом мышечном индивидууме, а перетекают постепенно и плавно с одной системы на другие. Я предложил бы сделать немедленный опыт: вытянуть руку горизонтально по переднелатеральному направлению, затем описать кистью руки большой круг по типу рис. 22 и выяснить, хотя бы путем анатомического анализа, как совершаются при этом движении смена мышечных иннерваций и процесс денервации антагонистов. Тот же процесс постепенной переиннервации наблюдается очень хорошо при любом пластическом движении; более тонкими методами регистрации он обнаруживается повсеместно.

С гораздо большей выразительностью упомянутый факт целостной слитности выступает при анализе автоматизированных ритмических движений в явлении чрезвычайно далеко заходящей взаимной обусловленности их частей. Примеры таких зависимостей разобраны мной ранее (1926, 1934). Здесь я упомяну как пример, что при ритмической работе молотком направление траектории локтя (вперед или в сторону) дает теснейшую корреляцию с такими, казалось бы, далекими от области локтя явлениями, как соотношение наибольших скоростей головки молотка в замашном и ударном движении, угол наклона молотка к горизонту в замахе, соотношение длин траекторий молотка и запястья и т.д. Сюда же относится, как мне кажется, и влияние изменения темпа на всю конструкцию движения, прослеженное мной[2] на фортепианном ударе и на локомоции. Движение никогда не реагирует на деталь деталью. На изменение каждой малой подробности оно откликается как целое, обнаруживая с наибольшей выпуклостью изменения в тех частях, которые иной раз далеко отстоят от первично измененной детали как в пространстве, так и во времени.

---

[1] Понятие антагониста вообще приложимо безоговорочно только к случаям мышц одноосных сочленений, притом таких, которые перекинуты только через одно это сочленение. Количество мышц этого рода чрезвычайно ограничено: в скелете конечностей такими мышцами являются только m. brachial. int., m. pronator qu., короткая головка m. tricipitis, m. vastus femoris. Все прочие мышцы могут быть только *функциональными* антагонистами в одних ситуациях и находятся в совершенно других соотношениях для других ситуаций.

[2] *Бернштейн Н.А.* // Исследования ЦИТ. 1924. Т. 1, вып. 2; *Он же.* Биомеханика для инструкторов. М.: Нов. Москва, 1926; Исследования по биодинамике локомоций. М.: ВИЭМ, 1935; *Бернштейн Н.А., Попова Т.С.* Исследования по биодинамике фортепианного удара // Тр. фортепьян. методол. секции. М.: Музгиз, 1930.

Таблица 1

Ходьба. Продольные перемещения	Абсолютные амплитуды, см				Относительные амплитуды (A1 = 100%), %		
	A1	A2	A3	A4	A2	A3	A4
Кончика стопы	38,50	9,09	0,80	0,67	23,6	2,08	1,74
Центра тяжести всей руки	7,60	0,81	0,15	0,07	10,65	1,98	0,92
Центра тяжести всей ноги	14,47	1,22	0,49	0,22	8,42	3,39	1,52

Наконец, следует упомянуть об описанном мной[1] явлении изобразимости ритмических живых движений в виде быстро сходящихся тригонометрических сумм. На целом ряде ритмических движений человека (ходьба, удар молотом, опиловка, фортепианный удар и т.д.) мне удалось констатировать, что все они могут быть интерпретированы с точностью до немногих миллиметров в виде сумм трех или четырех гармонических колебаний, так называемых тригонометрических сумм Фурье:

$$r = A_0 + \sum_{j=1}^{\infty} A_i \sin 2\pi i/T(t+\theta j). \qquad (4)$$

Быстрота сходимости этих сумм в случаях живых ритмических движений может быть иллюстрирована хотя бы следующими числовыми примерами (табл. 1).

Факту такой интерпретируемости нельзя не приписать большого значения в рассматриваемом вопросе. Если один полный цикл движения продолжается 1 с и при этом представляет собой с точностью до 1—3 мм сумму трех синусоид, то это значит, что все детали такого движения предопределены с указанной степенью точности на всю секунду вперед. Далее, при известном периоде, синусоида определяется двумя параметрами, т.е. определима по двум точкам. Сумма четырех синусоид теоретически определима поэтому по восьми точкам. Иначе говоря, по малому отрезку такого движения, который с точностью до долей процента представим в виде суммы четырех синусоид, можно реконструировать все движение в целом с точностью того же порядка. Этот экспериментальный факт свидетельствует с особенной убедительностью об органической слитности и взаимной обусловленности ритмических движений во времени, в то время как вышеупомянутая взаимная зависимость, прослеженная мной между элементами ударного движения, говорит о такой же целостности его в пространственном сосуществовании.

Если в своем внешнем выражении координационная деятельность приводит к картинам столь большой слитности и спаянности, то, с другой стороны, и ее анатомическая структура, по нашим нынешним воззрениям, представляет картину не меньшей высокоорганизованной сложности. Многообразие клини-

[1] *Бернштейн Н.А.* Исследования по биодинамике ходьбы и бега // Тр. Науч.-тех. комитета НКПС. 1927. Вып. 63; *Бернштейн Н.А.* Клинические пути современной биомеханики // Сб. тр. Ин-та усовершенствования врачей в Казани. 1929. Т. I.

ческих нарушений моторики свидетельствует о том, какое большое количество раздельных и различно соподчиненных друг с другом систем кооперирует между собой при осуществлении полноценного движения. Одна только спинальная система содержит до пяти самостоятельных центробежных путей (пирамидный, рубро-спинальный, вестибуло-спинальный и два текто-спинальных). В области головного мозга мы имеем огромное скопление ядер, так или иначе зарекомендовавших себя (чаще всего через патологию) необходимыми участниками целостного двигательного акта. Все попытки охарактеризовать их деятельность в норме вынуждены до настоящего времени ограничиваться очень общими словами и предположительно образными характеристиками, но самый факт их синтетической деятельности не подлежит уже никакому сомнению. Имена Bianchi (1922), Brown, Dupré (1909, 1910), Foerster (1936), K. Goldstein (1927), М.О. Гуревича (1924), Homburger (1929), Jacob (1911), Lashley (1933), Lewy (1923), Magnus (1924), Monakow (1914) и многих других исследователей, пытавшихся так или иначе обрисовать функциональные взаимоотношения различных областей головного мозга, должны быть здесь упомянуты с признанием их огромных заслуг перед физиологией движений. Краткое резюме того, что добыто этими авторами в области, непосредственно относящейся к обсуждаемому предмету, будет примерно таково.

Импульс, достигший концевой пластинки мышцы по центробежному волокну последнего неврона, есть равнодействующая нескольких самостоятельных центробежных импульсов, различными путями распространяющихся к синапсам передних рогов. Из числа этих слагающих значительная иннервационная самостоятельность принадлежит пирамидным импульсам (кора — пирамидный путь спинного мозга) и совокупности импульсов от стриопаллидарной ядерной группы (c. striatum — gl. pallidus — nucleus ruber — tr. rubrospinalis), находящейся в тесной кооперации с ядрами, имеющими менее ясные функции (substantia nigra, nucleus Darkschewitsch, corpus Luysii и т.д.). Проприоцептивные импульсы центростремительного порядка вызывают ответные эффекторные импульсы со стороны инстанций, связанных со спинным мозгом через четверохолмие. Наконец, решающую роль при выполнении движения играют импульсы не центробежного, а центрально-передаточного (по выражению старых физиологов, комиссурально-ассоциативного) порядка, разыгрывающиеся на линии лобно-мостомозжечкового пути. Можно было бы скомпилировать обширные (нередко противоречивые у разных авторов) характеристики функциональных особенностей каждой из указанных анатомических инстанций, но это не входит сейчас в мою задачу. Важно оттенить одну общую черту, являющуюся несомненным положительным достижением последних десятилетий.

Дело в том, что клинические наблюдения вышеупомянутых и многих других авторов сходятся на том, что все эти центрально-нервные системы имеют на периферии одни и те же объекты воздействия — одни и те же мышцы и, вероятнее всего, одни и те же периферические проводящие пути. Особенности и отличия действия пирамидной, стриопаллидарной, мозжечковой и других подсистем состоят не в различиях и особенностях периферических объектов, на которые они действуют, а исключительно только в различии образа их воздействия на эти объекты. Pallidum имеет дело с той же мускулатурой, что и мозговая кора. *Специфичен не его объект, а его манера.* Ни одно из данных современной

физиологии не противоречит уверенности в том, что, например, осуществление и флексии и экстенсии в каком-либо одноосном сочленении доступно как пирамидной, так и стриопаллидарной системе. Обе они могут давать и дают эффект реципрокности. В "большой патологии" это делается раздельно, в норме обе системы участвуют в ритмическом процессе сообща. Для обрисовки того, как именно может происходить это "сообща", мы имеем в литературе очень много описаний, впечатлений и соображений, часто вполне убеждающих, во многом не противоречивых. Для очерка, имеющего своей задачей постановку вопросов и формальный пересмотр материала, важны не те или другие конкретные данные, содержащиеся в этих описаниях, а основная тенденция всех их: признание наличия совместного для каждой из инстанций качественно своеобразного действия центральных подсистем на одни и те же периферические объекты.

В теснейшей связи с этим воззрением стоит и укоренившееся сейчас представление о множественности проекций периферических органов в центральной нервной системе. Наряду с прослеженной еще в XIX в. и разработанной в наши дни с исключительной детальностью проекцией моторной периферии на кору полушарии (рис. 23, *см. рис. 46 в кн. 1. — Примеч. ред.*) мы вынуждены допускать локализационную проекцию той же периферии и на globus pallidus, и на червячок мозжечка. В нашем аспекте не существенно то, как именно произошла такая множественность в результате филогенетических наслоений и надстроек. В человеке она предъявлена нам как нечто данное, как поставленная проблема, и наша задача состоит в том, чтобы искать непротиворечивые объяснения механизмов подобного многоэтажного функционирования.

Если попытаться пересмотреть выше уравнение элементарного движения (3 с), то необходимым образом получится следующее. Иннервационный импульс E, который при внимательном рассмотрении периферических процессов оказался не связанным однозначно со своим следствием — движением и в силу этого обязанным к точнейшему согласованию своего протекания с проприоцепторикой по α и $d\alpha/dt$, есть в то же время сумма (или иная форма объединяющей равнодействующей) ряда импульсов, имеющих очень раздельное локальное происхождение в головном мозгу. Каждая из компонент этого импульса возникает в отдельном, различно от других центров организованном ядре головного мозга. Каждое из этих ядер имеет свои особые взаимоотношения с прочими центрами мозга, свою топику проводящих путей, своеобразную для каждого из ядер степень близости и форму связи с рецепторными центрами, наконец, как показывает нервная клиника, свою особенную манеру действия во времени и в способах комплексирования. Трудность увязки всех этих фактов очень велика, и я попытаюсь это показать.

Если бы импульс E протекал по типу уравнения (3b), т.е. имел бы форму $E(t)$, то не было бы ничего принципиально трудного в том, чтобы представить себе ряд самостоятельных потоков, разумеется, очень тонко согласованных между собой, сливающихся в конце концов в одном объединенном русле двигательного нерва и создающих в своем объединенном действии на концевую пластинку импульс $E(t)$. Точно так же нетрудно было бы себе представить возможность множественного действия импульсов и при наличии действительной формы (3 с), т.е. $E(t, \alpha, d\alpha/dt)$, если бы каждый из центральных импульсов имел свой отдельный объект воздействия на периферию в виде, например, мышцы, подведомственной

только ему одному. Если допустить, например, что управление флексорной группой сочленения сосредоточено в ядре *A*, а управление экстенсорами того же сочленения — в ядре *B*, причем проприоцептивные связи обеспечивают как тому, так и другому ядру возможность реагирования на α и $d\alpha/dt$, то механизм в этом виде снова оказывается лишь количественно, но не качественно сложным для уразумения.

Действительное положение вещей, т.е. не связанный однозначно с движением, проприоцептивно обусловленный импульс, направляемый от множества источников к единому объекту, на наш взгляд, не оставляет нам ни одного из облегчающих задачу выходов. Единственная (кажущаяся) возможность объяснения такой структуры состоит в том, чтобы наделить проприоцептивной "зрячестью" только один из эффекторных центров мозга, например мозжечок, предоставив прочим эффекторам функционировать по чистому типу $E(t)$. В математическом выражении такая структура могла бы выглядеть следующим образом: суммарный импульс E слагается из ряда центральных импульсов E_1, E_2, E_3...

$$E(t, \alpha, d\alpha/dt) = E_1(t) + E_2(t) + \ldots + E_n(\alpha, d\alpha/dt). \tag{5}$$

Однако эта комбинация выглядит малоприемлемой по ряду причин. Во-первых, мы не имеем никакой гарантии в том, что E есть сумма E_1, E_2... E_n, а не какая-либо иная функция их, что может существенно изменить дело, затруднив координирующему центру E возможность переслаивания "слепых" импульсов E_1, E_2... точно соразмеренными добавками. Во-вторых, центростремительные импульсы направляются в спинном мозгу не по одному, а по целому ряду проводящих пучков и достигают прямым путем по крайней мере двух центральных ядер — мозжечка и thalamus, а непрямыми путями и еще ряда центров. Между тем вся трудность задачи и состоит именно в истолковании возможности проприоцептивной *множественности*. Представить ее себе примерно так же трудно, как движение двухместного велосипеда, каждый из седоков которого имел бы в своем распоряжении отдельный руль. Очевидно, что наличие двух эффекторных центров, реагирующих на проприоцепторику, должно требовать теснейшей функциональной связи между ними. Я не отрицаю ни возможности такой связи, ни ее действительного существования. Моя задача в первых двух разделах этого очерка состоит лишь в том, чтобы оттенить огромные затруднения, встающие перед попытками функционального истолкования двигательной координации. Уже уравнение (3 с) резко отличается от привычных нам качественно несложных, спокойных представлений о взаимоотношениях центра с периферией. Когда же мы вынуждены понимать их сложное взаимодействие как результат совместной деятельности целой системы органов, обладающих анатомически и клинически изрядной долей независимости, то вытекающая отсюда колоссальная структурная сложность начинает обрисовываться еще более выпукло. Это уже плодотворно, ибо недооценивать трудность задачи часто значит отдалять момент ее разрешения.

3. Взаимоотношения координации и локализации

Изложенное в предыдущих главах уже выявляет в известной степени ту тесную связь, которая существует между проблемами координации и локализации. Из всего сказанного ясно, что никакие нюансы одиночного импульса $E(t)$ не

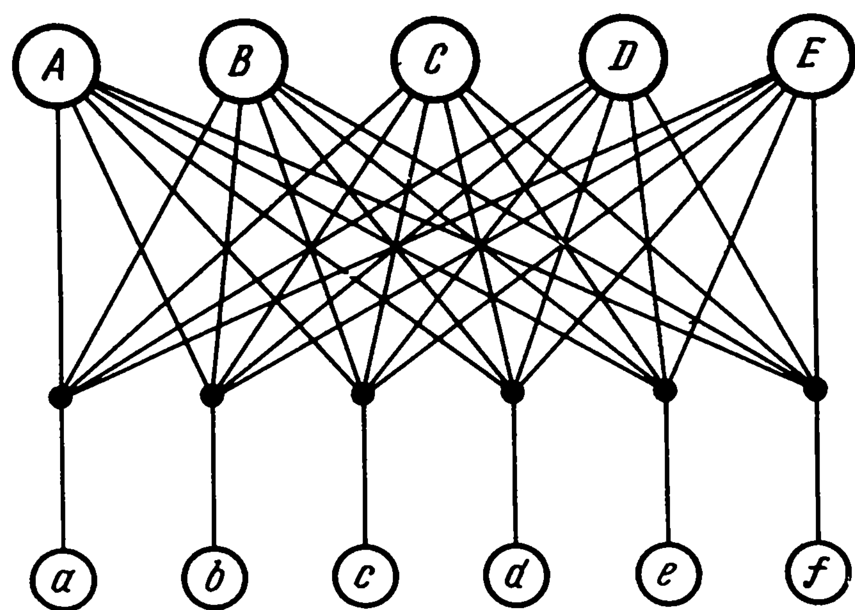


Рис. 24. Множественность проводящих путей при управлении шестью мышцами *a, b, c, d, e, f* из пяти эффекторных центров *A, B, C, D, E* дает даже в этом намеренно упрощенном случае сложную структурную схему иннервации

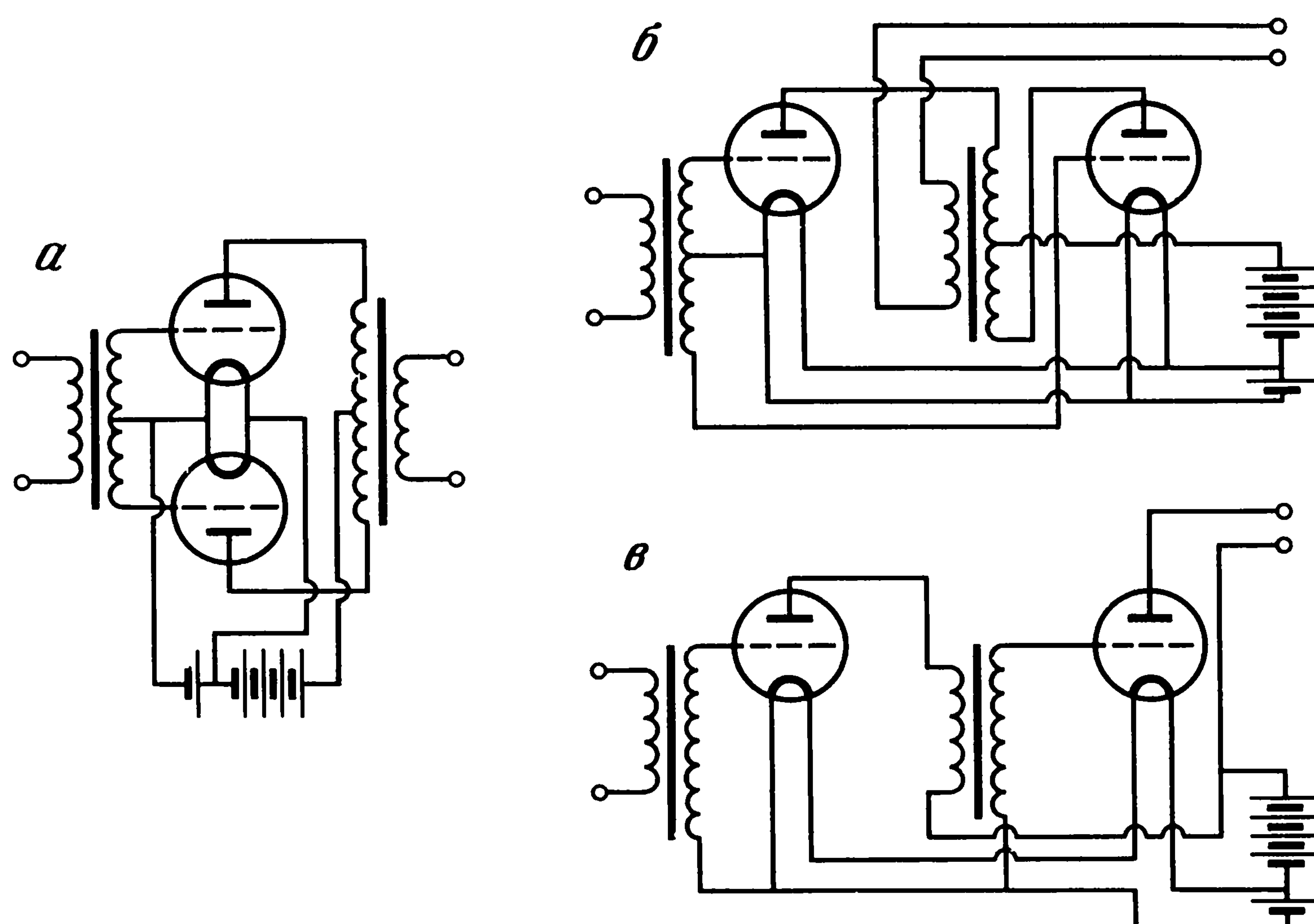


Рис. 25. Три схемы двухламповых усилителей звуковой частоты
Схемы *а* и *б* (пушпульный однокаскадный блок) тождественны между собой во всех деталях. Схема *в* (двухкаскадный усилитель на трансформаторах) принципиально глубоко отлична от них

в состоянии объяснить даже простейший случай повторного целесообразного выполнения автоматизированного движения, а тем более комплексную сложность натуральных движений, выполняемых множеством мышц, каждая из которых повинуется множеству центров. Если отвлечься для начала от несомненного наличия функциональных "междуведомственных" связей между мозговыми центрами, организующих последние в порядке Ueber- и Unterordnung[1], то примитивная иннервационная схема эффекторных импульсов получится примерно такая, как на рис. 24. Ясно, что координация определяется не столько оттенками деятельности каждого из импульсов *Aa, Ab... Ba, Bb...*, взятых по отдельности,

[1] Unterordning переводится обычно словом *подчинение*. Ueberordnung более или менее приблизительно переводимо термином *возглавление*.

сколько системным типом их совместного действия и взаимного влияния. Самое слово *координация* уже намекает на совместность действия отдельных элементов. Предмет проблемы координации — не анализ звучаний и выразительных средств одного музыкального инструмента в оркестре, а техника построения партитуры и дирижерское мастерство.

Основной, ведущий тезис исследования координации должен быть поэтому сформулирован следующим образом. Координация есть деятельность, обеспечивающая движению его обрисованную выше целостную слитность и структурное единство. Эта деятельность базируется основным образом не на особенностях процессов в одиночных невронах, а на определенной *организации* совместного действия последних. Организация же не может не быть отображена в анатомическом плане в виде определенной *локализации.*

Такая постановка вопроса представляется мне эвристически целесообразной. С одной стороны, организация и ее наличие формы неминуемо должны быть запечатлены в структурных формах локализации. Как из рассмотрения чертежа электрической схемы можно сделать вывод о характере ее функционирования, так и данные локализационно-анатомического порядка могут послужить по меньшей мере вспомогательно-проверочным материалом для оценки данных выдвигаемой мной новой экспериментальной проблемы — *структурной физиологии движений.* С другой стороны, сами анализы структуры движений должны в неменьшей мере способствовать критической оценке существующих и могущих появиться взглядов на тип и строение мозговых локализаций. Невозможно представить себе такое положение, при котором локализационная структура находилась бы в противоречии со структурой организационной.

Здесь необходимо прежде всего одно существенное примечание. Никоим образом не следует смешивать локализацию с топикой. Топика есть география мозга, учение о пространственном расположении его функционально-существенных точек. Локализация есть структурный план анатомических взаимоотношений между этими функциональными точками. Если на рис. 24 перетасовать между собой положения центров *A, B, C, D, E,* то это изменит всю топику рисунка, но не нарушит его локализационной структуры. Расположение (топика) элементов схемы радиоприемника на чертеже совершенно иное, нежели топика этих элементов в реальном приборе, построенном по той же схеме. Наоборот, при той же самой топике возможны совершенно различные схемы.

Рис. 25 поясняет сказанное на примере из области радиосхем, чрезвычайно удобной для иллюстрирования наших вопросов: схемы *а* и *б* на этом рисунке имеют одну и ту же структуру при разной топике, схемы *б* и *в* — одинаковую топику, но различные *структуры.* Вопрос, так сильно беспокоивший наших дедов-физиологов в связи с опрокинутостью изображения на *сетчатке,* а именно вопрос о том, попадает ли это изображение точно так же опрокинутым и в кору мозга, и если да, то как это компенсируется, представляется мышлению нашего времени детски простодушным. Мы еще помним, как иные из их современников предлагали для объяснения мыслить душу находящейся в мозгу вверх ногами, не определяя, впрочем, точнее, что такое ноги души. Сейчас, конечно, мы с большой легкостью допустим значительно более сложные перестановки элементов, отображающих в мозгу сетчатку, не испытывая от этого структурных затруднений: ведь не обязана же центральная телефонная станция заботиться о том,

чтобы коммутаторные гнезда абонентов из северной и южной частей города располагались соответственно у северного и южного края коммутаторного щита. Однако и этот старинный вопрос может навести на новые и уже менее детские размышления: а существуют ли все же границы для такого рода перетасовок? Если они существуют, то какими свойствами обладает граница, отделяющая перестановки структурно безвредные от перестановок, неминуемо нарушающих структуры? Анализ этого вопроса в такой постановке покажет нам прежде всего, что разные структурные схемы относятся к перестановкам с различной терпимостью, но эта сторона вопроса уяснится несколько позднее.

Итак, в проблеме локализации для нас существенно в первую очередь не то, *где* отображается в головном мозгу тот или иной периферический объект или функция, а уяснение того, *что именно и как именно* там отображается; каковы отличительные свойства тех объектов, которые имеют свое представительство в коре полушарий и в подкорковых ядрах. Вопросы топики в наибольшей своей части, по-видимому, безразличны для анализа координационной структуры движений. Между тем вопросы локализации имеют для него первостепенное, принципиальное значение.

Это значение может быть очень хорошо разъяснено на примере старинной локализационной концепции, уже упоминавшейся в первом разделе этого очерка. Такая концепция имела бы все права на существование, если бы каждый центральный импульс безусловно обеспечивал одно определенное движение, т.е. если бы существовало однозначное соответствие между импульсом и движением. В этом случае эффекторные импульсы имели бы право протекать как чистая функция времени $E(t)$, давая всегда один и тот же эффект вне зависимости от того, что происходит на периферии, и кнопочно-распределительная структура коры, подобная по устройству клавиатурам органа, напрашивалась бы в качестве объяснения сама собой. Но поскольку, наоборот, такой однозначности не существует и мозговой моториум осуществляет предпринятое движение, гибко и приспособительно лавируя между равнодействующими внешних сил и явлений инерции, все время реагируя на проприоцептивные сигналы и одновременно соразмеряя между собой импульсы отдельных центральных подсистем; поскольку десятикратное повторение одного и того же движения требует десяти различных между собой последований импульсов, постольку наличие в коре локализационного оборудования гитциговско-ферстеровского типа начинает становиться весьма сомнительной вещью.

Я хотел бы напомнить здесь неудачу, которая постигла в 1923 г. изобретателей "симфонии гудков". Попытка превратить паровые гудки в музыкальный инструмент с органной клавиатурой расстроилась именно вследствие того, что каждый данный гудок не соглашался звучать всегда одинаково и менял высоту тона в зависимости от давления пара, от количества одновременно включенных гудков, от степени открытия паровпускного канала и т.д., так что не получалось однозначного соответствия между клавишем, с одной стороны, и высотой получаемого тона — с другой.

Разумеется, констатирование сложности, "непрактичности", с нашей точки зрения, не есть еще ни в какой мере решающий аргумент для принятия или непринятия той или иной физиологической гипотезы. Никем не доказано, что физиологическая структура должна быть максимально рациональной с нашей

технико-социальной, антропоморфической точки зрения. Локализованное строение мозговой коры по типу ферстеровского (см. рис. 23) не противоречит прямым образом уравнению (3 с) с его проприоцептивным циклом и отрицанием однозначности, оно только делает задачу предусмотренных в ней клеточных центров чрезвычайно сложной. Решающий аргумент против теории прямого отображения мышечной системы в коре идет совсем с другой, может быть, несколько неожиданной стороны. Этот аргумент в наиболее общей его формулировке я изложу ниже, здесь же использую только одну из его частных модификаций применительно к разбираемому случаю.

Пусть корковые клетки передней центральной извилины действительно суть эффекторные центры мышц. Примем в соображение, далее, что деятельность этих клеток должна быть (что неминуемо при данной гипотезе) гибко-различной от случая к случаю при повторном исполнении какого-либо движения в зависимости от изменений внешнего силового поля и от проприоцептивных сигналов. Если представить себе для ясности, что мы могли бы сделать каждую возбуждающуюся эффекторную клетку коры вспыхивающей, как электрическая лампочка, в момент посылки ею импульса на периферию, то при таком устройстве опыта каждое движение было бы видимо нам на поверхности коры, как некоторый зигзаг вспышек. Отсутствие однозначности и все те соображения, которые были выше высказаны по поводу уравнения (3 с), повели бы при этом, очевидно, к тому, что при каждом повторении заданного движения вспышечный зигзаг выглядел бы несколько иначе. Теперь предположим, что повторяемое движение есть автоматизированный акт реализации двигательного навыка, иначе говоря, условнодвигательный рефлекс. Из вышеизложенных посылок следует как неизбежный вывод, что условнодвигательный рефлекс осуществляется каждый раз посредством иного зигзага, через иные клетки. Иначе говоря, *допущение клеточной локализации мышц необходимо приводит к отрицанию клеточной локализации условного рефлекса.* Одна из двух шахматных фигур теперь погибла, и еще очень большой вопрос, какою из двух охотнее согласится пожертвовать старый локализационист.

Я совсем не думаю опрокинуть старую локализационную концепцию одним ударом, но здесь можно не умолчать о том, что она уже подкошена в весьма серьезных направлениях. Опыты Bethe (1926, 1930, 1934) и Trendelenburg (1915) с экстирпациями мозгового вещества у обезьян, доказавшие возможность далеко идущих компенсаций, а затем обширные исследования Lashley, экспериментировавшего на крысах и обнаружившего явления компенсации и восстанавливаемости условных рефлексов при самых разнообразных в топическом отношении экстирпациях, говорят как будто бы с большой убедительностью о необходимости коренного пересмотра старой концепции. Lashley не мог констатировать никакой явной зависимости между топикой внесенного им разрушения и степенью восстанавливаемости рефлексов. Напротив, он нашел, что имеет место явный параллелизм между тѐмпом их восстановления и *количеством* сохраненного мозгового вещества, вне зависимости от его местонахождения. Эти результаты побуждают его резко склоняться в пользу предположения о некоей кортикально-клеточной обезличке, в чем, как мне думается, он совершенно неправ. Его данные крайне опасны для старой локализационной теории, но далеко не опровергают возможности какой бы то ни было локализации вообще.

Ошибка Lashley оттеняется очень выпукло обратной ошибкой, сделанной в свое

время Hall (1822—1823). Никто не думает сейчас, что френология была обречена на неудачу потому, что самый принцип мозговой локализации ложен. Никто не припишет ее поражения и тому обстоятельству, что Hall локализовал скупость или честолюбие не в тех участках, где они локализуются в действительности. В теории Hall порочна не указанная им топика, а *принцип выбора тех категорий,* которые он думал найти раздельно локализованными в коре. Категории Munk (1881), Hitzig (1874), Foerster оказались более физиологичными, более близкими к реальности, нежели пропитанные моралистическим рационализмом XVIII века фантазии Hall, явились как бы следующим приближением к раскрытию истины. Уже назревшее к настоящему времени отрицание этих категорий неминуемо приведет к их ниспровережнию, но пока еще это не угрожает падением принципа мозговой локализации вообще. Стоит вспомнить, что и после крушения френологии идея локализации долгое время выглядела скомпрометированной в целом, пока не стало постепенно выясняться, что можно и не выплескивать из ванны ребенка вместе с водой. Сейчас же, после появления и установления учения об условных рефлексах, отрицать структурную, анатомически запечатленную специфичность мозга означало бы то же, что утверждать его абсолютную непознаваемость.

Наша экспериментальная задача в настоящий момент состоит в том, чтобы сформулировать правильно те категории, которые могут быть в действительности локализационно отражены в центрах мозга. Ключ к такому подысканию истинных категорий должен содержаться, очевидно, в структурном анализе: рецепторного момента (так, как он дается в опыте с условным рефлексом) и эффекторного момента (так, как он дан в координации движений).

4. Экфория двигательных энграмм

Выше я касался только явлений, указывающих на одномоментную экстенсивную структурность двигательных координаций. Мне важно было доказать, что движение не может быть понято как результат какой угодно нюансировки одного импульса и что оно есть результат совместного одновременного протекания целой системы импульсов, причем построение этой системы (ее структурная схема) не безразлично для понимания результата. Отсюда был один только шаг до высказывания ведущей мысли этой статьи о том, что иннервационно-локализационная структура в действительности не только не стоит в противоречии со структурой наблюдаемых нами движений организма, но необходимым образом представляет собой точное отображение этой последней[1]. Теперь необходимо, до перехода к дальнейшему, обратиться к другой стороне явления, а именно к протеканию его во времени. Нужно экспериментально выяснить, имеет ли место простой параллелизм протекания во времени ряда системно связанных импульсов или же и по самой координатной оси времени существует такая же структурная взаимная обусловленность, какая была выше констатирована для каждого отдельного момента.

Эта постановка вопроса может быть пояснена следующей иллюстрацией. Для выполнения данной координации в некоторый момент имеет место схема I (напри-

[1] См. уточненное высказывание этой мысли в Заключении настоящей книги.

мер, изображенная на рис. 24). Может ли вся координация на всем протяжении ее протекания во времени быть рассматриваема как непрерывное функционирование схемы I или же она осуществима и осуществляется как последовательная смена схемы I на какую-либо иную, качественно отличную от нее, схему II, затем на схемы III, IV и т.д., причем самый закон и порядок смены схем I—II—III—IV, в свою очередь, обладает своей определенной структурной физиономией? По этому вопросу наши фактические сведения сейчас еще очень скудны, но все же здесь можно кое-что наметить.

Прежде всего нужно обратиться к констатированному выше факту целостности движения, его единства и взаимной обусловленности его частей в пространстве и во времени. Установленная мной изобразимость ритмического движения в виде трех-четырехчленной тригонометрической суммы вида (4) несомненным образом доказывает существование такой целостности во времени, причем эта целостность отнюдь не периферического, не механического, а несомненно, центрально-нервного происхождения. Она доказывает нам, что в центральной нервной системе существуют точные формулы движений (Bewegungsformeln) или энграммы последних, причем эти формулы или энграммы[1] охватывают в какой-то из мозговых инстанций весь процесс движения на всем его временном протяжении. Мы можем утверждать, что в тот момент, когда движение началось, в центральной нервной системе имеется в наличности уже вся совокупность энграмм, необходимых для доведения этого движения до конца. Существование таких энграмм движения доказывается, впрочем, уже самим фактом существования двигательных навыков и автоматизированных движений.

Теперь возникает вопрос уже явно структурного порядка. Пусть данному координированному движению соответствуют в мозгу *n* энграмм, причем осуществление движения обеспечивается их последовательной экфорией в определенном временном порядке и в определенном темпе и ритме. Все эти энграммы существуют в центральной нервной системе в каждый данный момент, раз существует двигательный навык, но существуют они в скрытом, латентном виде. Чем обусловливается, во-первых, то, что они экфорируются не все сразу, а по очереди, во-вторых, то, что не перепутывается порядок их экфории, в-третьих, то, что между их экфориями соблюдаются определенные временные длительности (темп) и количественные соотношения этих длительностей (ритм)? Здесь могут быть две основные возможности, две "структуры во времени": а) каждая предыдущая экфорированная энграмма (или, может быть, проприоцептивный сигнал об ее эффекте на периферии) служит экфоратором для следующей по порядку энграммы; или же б) экфорирующий механизм, экфоратор, лежит вне самих энграмм и управляет ими в порядке Ueberordnung[2]. Первая гипотеза может быть условно названа гипотезой цепочки, вторая — гипотезой гребенки (рис. 26).

В пользу каждой из этих гипотез могут быть выдвинуты очень веские соображения. Гипотеза цепочки выдвигает на первый план проприоцептивный момент и в связи с этим может сама по себе удовлетворительно объяснить соблю-

---

[1] Термин *энграмма*, как и ниже приводимый термин *экфория*, введен Semon (Die Mneme, 1912). Первый из них означает запечатление в долговременной памяти (в самом широком смысле), второй — процессы извлечения энграмм из этой последней.

[2] Главенствования, или возглавления (см. сноску выше).

дение темпа и ритма, истолковывая их как закономерные отклики на то, что происходит на периферии. Поскольку по этой гипотезе для возникновения каждой следующей экфории раздражителем служит осуществление предшествующей, постольку объясняется и сохраняемость точного порядка последования и невозможность пропуска отдельных звеньев последовательной экфории[1]. Наконец, она импонирует своей простотой и отсутствием необходимости в каком-либо постороннем экфораторе.

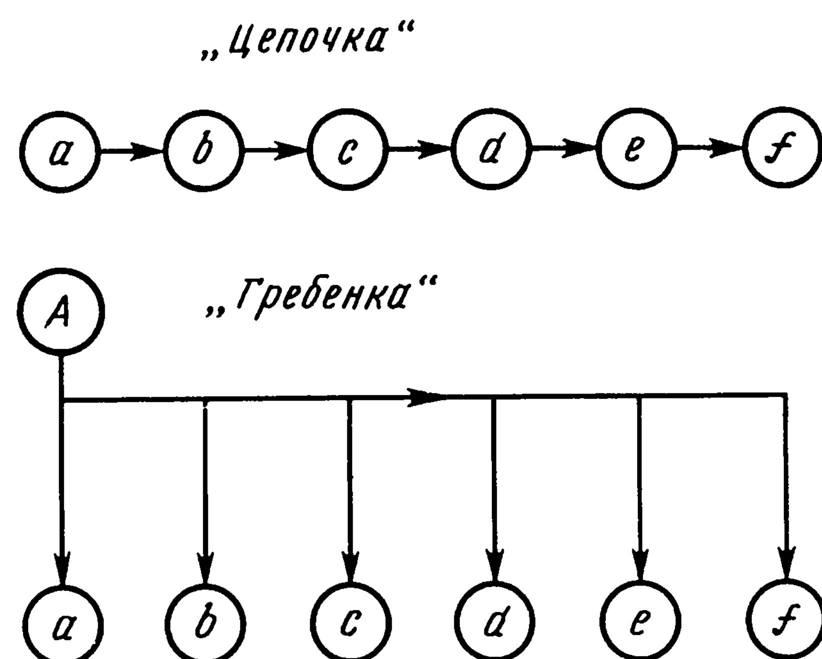


Рис. 26. Две принципиально возможные схемы последовательной экфории двигательных энграмм *a, b, c, d, e, f*

Доводы в пользу гипотезы гребенки не менее серьезны. Наличие в центральаной нервной системе "проекта движения", его целостной формулы, целостность самого движения в его выполнении от начала до конца не вяжутся с допущением дробной, ничем, кроме периферии, не руководимой последовательности элементов по цепочечному типу. В этом последнем не видно руководящего принципа, объединяющего орудия. Далее, если вспомнить изложенные выше факты, указывающие на то, что центральные импульсы создают лишь силовые добавки к внешнему полю сил, так что само по себе развертывание импульса во времени может иметь чрезвычайно мало общего с картиной движения, то гипотеза гребенки получит новое сильное подкрепление. В самом деле, как показано на рис. 21, центральный импульс *C*, изображенный заштрихованной площадью и поневоле непохожий вследствие наличия внешних сменяющихся сил *A* на достигаемую в конце концов суммарную ритмическую равнодействующую *B*, протекает в своих элементах каждый раз очень различно. Возможность достижения при каждом повторении целостной и закономерной равнодействующей *B*, выполняющей на периферии закон уравнения (4), требует, чтобы в центральной нервной системе имелась где-то руководящая энграмма, охватывающая весь в целом закон последования *B*. А если такая руководящая энграмма (ее можно назвать моторным образом движения) существует, то ее природа неминуемо должна быть двойственной. С одной стороны, она обязана содержать в себе как нечто единое и одновременно существующее, как зародыш в яйце или как запись на граммофонной пластинке, всю схему развертывания движения во времени, с другой стороны, должна обеспечивать порядок и ритмичность реализации этой схемы, т.е. упомянутую граммо-

[1] Такая концепция близко напоминает выдвинутое в послдение годы П.К. Анохиным понятие о механизме *санкционирующей афферентации*.

фонную пластинку вертеть каким-то мотором. В этом случае то, что я уподобил пластинке, есть руководящая энграмма, а то, что уподоблено граммофонному мотору, есть экфоратор[1].

Обе рассмотренные гипотезы вполне увязываются с выведенным выше строением периферического импульса по уравнению (3 с), т.е. с обусловленностью его в виде $E(t, \alpha, d\alpha/dt)$, но только освещают эту обусловленность различно. При гипотезе цепочки решающими агентами, определяющими развертывание процесса, являются зависимости E от α и $d\alpha/dt$, т.е. проприоцептивные (в широком смысле) зависимости, а временной момент зависимости от t определяется при этом только темпами и содержанием деятельности каждого отдельного элемента цепочки: *a, b, c* (см. рис. 26). При гипотезе гребенки, наоборот, доминирует зависимость $E(t)$, т.е. самостоятельная инициатива и ведущая деятельность центральной нервной системы, а проприоцептивные влияния выполняют лишь роль коррективов к общему целому.

Не надо забывать, что допущение необходимости экфораторного механизма, отличного от самих энграмм и в каком-то отношении доминирующего над ними, не связано необходимым образом с гипотезой гребенки, а требуется для обеих гипотез в равной мере. Что бы ни представляли собою руководящая энграмма в гипотезе гребенки и элементные энграммы *a, b, c...* в гипотезе цепочки, все равно все они должны сразу содержать в латентном виде схемы протекания движения за какой-то конечный отрезок времени: говоря математически, все они обязаны обеспечивать импульсу E зависимость не только от α и $d\alpha/dt$, но и от t. Будет ли этот центральный механизм темпа, этот "граммофонный двигатель", обусловлен в своем действии длительностями физико-химических внутриклеточных реакций или иными физиологическими ритмами[2], все равно он должен существовать как некоторая функция, отличная от содержания самих экфорируемых им энграмм, ибо в последних не содержится реального времени. Решение альтернативы в пользу одной из наших двух гипотез или, может быть, и в пользу какого-то более сложно организованного синтеза, включающего в себя их обе, есть вопрос дальнейшего исследования. Важно оттенить то принципиальное, что содержится в постановке вопроса.

Моторный образ движения (то, что в неврологической литературе принято называть "проект движения", Bewegungsformeln, Bewegurgsgestalt и т.п.) неминуемо должен существовать в центральной нервной системе в виде энграммы. Эта руководящая энграмма существует не только в гипотезе гребенки; ведь самый факт последовательной проторенной связи между элементными энграммами *a, b, c* в гипотезе цепочки есть тоже энграмма, только нарисованная не в виде кру-

---

[1] Интересно отметить, что поднятый мной вопрос об экфории движения по типу цепочки или по типу гребенки есть повторение в новом плане, в области физиологии движений старого психологического вопроса об ассоциационном (Bleuler, Adler) или акционном (Berze) типе протекания психических процессов. Цепочечный тип соответствует представлениям ассоциационистов, гребеночный тип очень напоминает собой гипотезу Berze. Я отнюдь не являюсь сторонником последней в виду ее явно идеалистических обоснований (психология волюнтаризма), но не могу отказать ей в меткости и своевременности того обстрела, которому она подвергла взгляды чистых ассоциационистов.

[2] Например, скоростью распространения волны возбуждения по центральной нервной системе, или временными явлениями, связанными с интерференцией этих волн, или ритмикой сердечной деятельности и т.п.

жочка. а в виде стрелок. Это энграмма, определяющая закон системной последовательности экфорий и, следовательно, руководящая им. Такой моторный образ соответствует действительному фактическому виду движения, т.е. кривой *B* на рис. 21, а никоим образом не кривой импульса *C:* ведь его наличие-то и обусловливает возможность приспособить ход импульса *C* так, чтобы в результате осуществлялось планомерное выполнение двигательного навыка *B*.

Таким образом, в высшем центральном органе необходимо должно существовать точное отображение того, что далее будет иметь место на периферии. В то же время в промежуточных, оперативных инстанциях развертывается деятельность по компановке и реализации импульса *C*, по вышедоказанному не похожего на периферический эффект, а согласно тому, что разобрано сейчас, не похожего, следовательно, и на содержание руководящей энграммы. Образно говоря, приказ, посылаемый высшим центром, *зашифровывается* перед отправлением на периферию до полной неузнаваемости, а там снова подвергается автоматической расшифровке.

Выше указывалось, что возможность двигательного навыка, устойчивого двигательного условного рефлекса, необходимо требует единства его локализации в центральной инстанции и что такое единство не может увязываться с теорией мышечного отображения в высших инстанциях коры. Только что изложенные соображения снова подтверждают этот тезис, но уже с точки зрения временной структуры движения: тот этаж центральной нервной системы, где формируется центробежный импульс *C* и где, следовательно, мы можем ожидать отображения мышечной системы, не есть высший этаж центральной нервной системы, не есть даже и тот этаж, в котором заложены элементные энграммы *a, b, c...* гипотезы гребенки. Между инстанцией гребенки и инстанцией мышечного отображения обязан совершиться еще *процесс зашифровки* образа движения с приведением его к виду *C*. На языке наших уравнений этот процесс зашифровки есть превращение зависимости $E(t)$, в чистом виде господствующей в верхнем этаже, в зависимости полного вида $E(t, \alpha, d\alpha/dt)$, т.е. переформирование моторного импульса по проприоцептивным сигналам[1].

Таким образом, анализ протекания движения во времени снова приводит нас к признанию структурной сложности двигательного акта, причем сложности и в этом разрезе отобразимой локализационно. Раз признанная необходимость существования руководящей энграммы и экфораторного механизма далее уже eo ipso требует допущения ряда подчиненных друг другу этажей с неизбежным качественным своеобразием каждого из них.

[1] Возникновение и выработка новых двигательных навыков, т.е. *энграфия* условнодвигательных рефлексов, тоже оказываются в свете проводимого нами анализа структурно сложным процессом. Действительно, в центральной нервной системе должны выработаться новые руководящие энграммы с их пространственно-временной детализацией, а с другой стороны, должны развиться те приспособительные проприоцептивные механизмы, которые я только образно назвал "зашифровкой" импульса и которые обеспечивают верховной энграмме возможность точного реального осуществления. То обстоятельство, что двигательный навык энграфируется не в тех центрах, где локализационно отображены мышцы, доказывается сразу фактом одинаковой осуществимости раз приобретенного навыка очень разными мышцами и в различных комбинациях. Когда ребенок учится писать, он может писать только крупно, а взрослый, умеющий писать, может с равной легкостью делать это и крупно, и мелко, и перед собой, и сбоку и т.д. По-видимому, моторные руководящие энграммы вырабатываются, вообще говоря, позднее, нежели приспособительные механизмы "зашифровки", и соответствуют более высокой ступени совершенства приобретенного навыка.

5. Топология и метрика движений. Моторное поле

Если теперь обратиться от временного момента к пространственному, то здесь необходимо остановиться на двух обстоятельствах: на различии между метрическими и топологическими свойствами психофизиологического пространства и на особенностях моторного поля центральной нервной системы. Как тот, так и другой пункты имеют капитальную важность. Но здесь я подвергну их обсуждению лишь в той мере, в какой это необходимо для разъяснения основного тезиса.

Во всяком геометрическом образе мы можем различать его топологию и его метрику. Топологией геометрического объекта я называю совокупность его *качественных* особенностей вне зависимости от его величины, формы, той или иной кривизны его очертаний и т.д. К топологическим свойствам линейной фигуры можно относить, например, замкнутая это фигура или незамкнутая, пересекают ее линии самих себя, как в восьмерке, или не пересекают, как в окружности, и т.д. Кроме этих свойств, лишенных в своем определении какого бы то ни было признака количества, мы должны будем в нашем аспекте отнести к топологическим свойствам и такие, которые уже включают в себя *число,* не включая, однако, никакой меры. Такими свойствами можно считать, например, четырехугольность, принадлежность к типу пятиконечной звезды и т.п. Эту группу свойств я назову условно топологическими свойствами первого порядка, в то время как первую можно причислить к нулевому порядку. Все фигуры верхнего ряда на рис. 27 (*см. рис. 73 в кн. 1. — Примеч. ред.*) принадлежат к одному и тому же топологическому классу первого порядка (будучи при этом совершенно несходными между собой в отношении метрики). Действительно, все они тождественны между собой по тем числам, которые их характеризуют. Все они имеют по пяти углов или лучей, все содержат по пяти пересечений составляющих их линий и т.д. Фигура *6* того же рисунка относится уже к другому классу первого порядка, содержа четыре угла и одно пересечение, но находится в общем с первыми пятью фигурами класса нулевого порядка, будучи, как и они, замкнутой фигурой с пересекающимися линиями. Для характеристики свойств первого порядка на обыденном, всем нам знакомом и привычном примере укажу, что каждая печатная буква есть отдельный топологический класс первого порядка, причем к одному и тому же классу буквы А будут принадлежать буквы А всех размеров шрифта, очертаний, гарнитур и т.д. (см. рис. 27, *7—14*), если только пренебречь некоторыми добавочными черточками чисто каллиграфического значения. Нарисованные мелом фигуры "игры в классы", каждую весну во множестве появляющиеся на наших тротуарах, суть тоже представители одного и того же топологического класса первого порядка для каждой разновидности игры, совершенно независимо ни от масштаба рисунка, ни от возраста и уменья рисовавшего. Привычная схема, по которой данный ребенок рисует "дом" или "лицо", также обычно есть определенный топологический класс и не более.

После этого общего введения можно перейти от геометрии к психофизиологии. Если обратить внимание психолога или педагога на нашу коллекцию букв А, приведенную на рис. 27, то он сейчас же скажет, что вся эта коллекция обладает общностью по своему *существенному* признаку, т.е. признает за топологическими свойствами фигуры психолого-педагогический примат по сравнению со свойствами метрического порядка. Он будет совершенно прав, поскольку *узнавание* в фигуре буквы А не требует наличия в ней никаких метрических свойств и, наоборот, целиком зависит от присутствия определенных топологических признаков.

Это преимущественное сродство процесса узнавания с топологией, уже давно отмеченное и изученное представителями Gestaltpsychologie, есть, безусловно, явление психофизиологического, а может быть, даже общебиологического порядка, но во всяком случае не может быть выведено из чисто геометрических рассуждений. Биологическая характерность преобладания топологических категорий над метрическими может быть прослежена на бесчисленном множестве примеров. Лист клена отличается от листа березы топологическими свойствами первого порядка, а в то же время все листья клена принадлежат к одному и тому же топологическому классу при всем хорошо изученном биометрическом разнообразии отдельных экземпляров. Строение головного мозга и расположение главных извилин коры есть опять объект, имеющий единую топологию при всевозможных вариациях метрики. Можно с уверенностью сказать, что в области биологической морфологии те случаи, когда наряду с топологией имеет существенное значение и метрика (например, преломляющий аппарат глаза), являются нечастыми исключениями[1]. Поучительно сравнить это преобладание топологии в живых объектах, например, с морфологией кристаллов, где вся суть в метрике.

Ряд биологически важных морфологических признаков несомненно должен быть отнесен к топологическим, хотя они уже не могут быть причислены ни к нулевому, ни к первому порядку. Любой ребенок отличит в натуре и на картине кошку от собаки: различие, без сомнения, основывается им не на анатомических соображениях вроде строения костей или клыков, о которых он может ничего не знать, а на общем облике, на чем-то un je ne sais quoi[2], являющемся безусловно топологической категорией. В то же время различие между обликами кошки и собаки не может быть сведено к топологическим признакам первого порядка. Здесь явно намечаются какие-то высшие порядки, которые подлежат дальнейшему анализу.

До настоящего времени не было еще обращено достаточного внимания на то, что движения живых организмов в неменьшей мере, нежели восприятия, определяются именно топологическими категориями. С наибольшей яркостью это иллюстрируется примером рисования, впрочем, может быть, потому лишь, что эта разновидность движений оставляет после себя удобно обозримый документ. Никто из нас не затруднится нарисовать пятиконечную звезду, но можно предсказать с уверенностью, что этот рисунок будет выдержан только в топологическом, а не в метрическом отношении. Для доказательства этого предлагаю нарисовать такую звезду десять раз подряд и сравнить между собой все рисунки. Я сомневаюсь вообще, можно ли сделать метрически совершенный чертеж подобного объекта без помощи циркуля и линейки, т.е. доступна ли вообще человеческой моторике сколько-нибудь приличная метрика, но зато можно показать, что нашей моторикой очень чутко воспроизводятся топологические отличия более высоких порядков, нежели первый и нулевой. Достаточно обратить внимание, например, на *почерк*. Выше я указал, что буквы А принадлежат к одному топологическому

[1] Анатому и топографу-анатому может никогда не прийти в голову, что он всю свою жизнь занимается изучением одних только топологических категорий — новая вариация Mr. Jourdain! (Журден — мольеровский мещанин во дворянстве, всю свою жизнь не подозревавший, что разговаривает прозой.)

[2] Не поддающемся определению (фр.).

классу первого порядка, кем бы и как бы они не были написаны. Между тем все А, написанные моей рукой, сходны между собой и в то же время отличны от А, написанных другим и третьим лицами. Сходство всех моих А, явно не метрическое, а топологическое, отличие же их от написанных другой рукой должно быть по этому самому отнесено к топологическим различиям порядков выше первого. Топологических возможностей нашего восприятия хватает на то, чтобы констатировать общность начертаний в пределах данного почерка, опять-таки в виде некоего не поддающегося анализу впечатления, "un je ne sais quoi". Анализ же недоступен нам из-за нашего незнакомства в настоящее время с тем, что представляют собой высшие топологические порядки и какие свойства им следует приписать.

Те из наших движений, которые не оставляют следа на бумаге, меньше обращали на себя внимание в указанном направлении. Параллельно с понятием почерка существуют структурно сходные с ним понятия походки, туше, речевого акцента, причем анализ этих понятий не продвинут пока сколько-нибудь далеко. Одно можно, однако, утверждать с уверенностью уже сейчас: все попытки свести различия этого рода к количественным, метрическим признакам (как это выполнимо, например, с тембром) заранее обречены на неуспех. Здесь необходимо создание новых понятий качественной геометрии, но рассмотрение открывающихся в этом направлении перспектив завело бы нас сейчас слишком далеко от прямой цели.

Чрезвычайный интерес непосредственно для структурного анализа движений представляет то обстоятельство, что топологические особенности зрительного восприятия обнаруживают наряду с чертами сходства и существенные черты отличия от топологии моторного воспроизведения. Например, категория *размера* представляется приблизительно в равной степени безразличной как для зрительного узнавания, так и для движения. Я одинаково легко узнаю треугольник, звезду или букву вне зависимости от того, предъявлены ли они мне в крупном или в мелком виде. Так же индифферентны к абсолютной величине геометрического объекта собаки (И.П. Павлов) и крысы (Lashley). Точно так же одинаково легко нарисовать звезду или написать слово мелко или крупно, изобразить их на бумаге или на классной доске. Интересно было бы изучить количественно зависимость вариативности таких рисунков от их величины. Во всяком случае, можно утверждать, что при любой величине они сохраняют свои топологические свойства не только первого, но и высших порядков. Например, на доске сохраняются *все черты почерка,* свойственного данному лицу на бумаге, хотя вся мышечносуставная структура движения в одном случае абсолютно иная, нежели в другом.

С другой стороны, зрительное восприятие обладает большой чуткостью к такому сопутствующему метрическому признаку, как *симметрия,* в то время как моторика совершенно чуждается последней категории. Наоборот, метрическая категория *протяженности,* несомненно, более близка моторике, чем зрительному рецептору, поскольку рецепторная оценка размеров (например, глазомер) основана всегда в конечном счете на глубоких кинестетических ассоциациях рецепторного зрительного поля. К категории *положения в пространстве* (правее, левее, выше, ниже) узнавание зрительное и моторика относятся, по-видимому, одинаково индифферентно, что представляет исключительный интерес для структурного

анализа локализаций. Фигура, помещенная в самых разнообразных частях поля зрения, с одинаковой легкостью узнается как таковая[1].

Равным образом и воспроизведение привычного движения, например написание слова или проигрывание заученного фортепианного пассажа, дается примерно одинаково легко и производится с одинаковой степенью точности вне зависимости от позы руки или от регистра. Интересно, что чисто метрические возможности кинестетического аппарата (например, оценка длин и расстояний) характеризуются гораздо большими различиями в разных зонах пространственного поля.

Как восприятие—узнавание, так и моторное воспроизведение чрезвычайно чувствительны к *направлению* фигуры в пространстве. Идентификация треугольника после поворота его на 180° дается несравненно труднее, нежели идентификация подобно расположенных треугольников разной величины. Точно так же воспроизведение фигуры карандашом в опрокинутом виде дается чрезвычайно трудно.

Весьма замечательно то, что в очень большом проценте случаев дети пишут буквы зеркально, т.е. путают правую и левую сторону, но никогда не пишут буквы кувырком. Еще интереснее другое обстоятельство (указывающее на наличие какой-то структурной двухстепенности): дети никогда не пишут и не читают справа налево *целое слово,* делая это сплошь и рядом с отдельными буквами слов. Очевидно, для обеих этих операций служат различные несравнимые друг с другом механизмы.

Эти аналоги и различия можно было бы прослеживать очень далеко: изучение тех и других обещает оказаться крайне плодотворным. Здесь же необходимо подытожить то, что высказано по поводу топологических свойств восприятия и моторики.

Прежде всего отмечу, что все изложенные выше соображения и факты, бесспорно, дают нам право обобщить всю совокупность топологических и метрических свойств моторики в ее взаимоотношениях с внешним пространством под общим названием *моторного поля,* поскольку здесь полная аналогия *со зрительным полем,* название которого имеет уже устоявшиеся права гражданства. Анализ свойств этого моторного поля есть непосредственная и ближайшая задача физиологии движений. Все сказанное выше позволяет нам констатировать, что физиологическое моторное поле не менее отлично от объективного внешнего геометрического пространства, нежели зрительное поле. Характерные отличия его от геометрического пространства в том виде, в каком последнее познается

[1] Этот факт я считаю чрезвычайно яркой иллюстрацией структурной сложности каждого, даже самого элементарного условного рефлекса. При предъявлении собаке зрительного условного раздражителя ни ее голова, ни тем более глазные яблоки никак не иммобилизуются, поэтому зрительному раздражению подвергаются самые разнообразные точки сетчатки, а следовательно, и различные клетки первичного зрительного центра. Если зрительный раздражитель есть, например, фигура треугольника, то при каждом предъявлении его животному на сетчатке подвергается возбуждению ряд сенсорных элементов. При этом для каждого случая иного поворота головы и глаз этот ряд частично или полностью иной. Единообразное реагирование во всех этих случаях доказывает, разумеется, что энграмма данного условного рефлекса закладывается не в тех пунктах (первичного зрительного центра), где отображены отдельные палочки и колбочки, а в каком-то структурно вышестоящем центре, связь которого с первичным очень сходна с той, которая была выше намечена для последовательных этажей двигательных центров. Здесь имеет место тот же факт, который был выше использован для доказательства невозможности локализования мышц и условнодвигательных рефлексов в одном и том же центре.

нами в теоретической геометрии, заключаются прежде всего в явном предпочтении, оказываемом моторным полем топологическим категориям перед метрическими, затем в наличии некоторых явно выраженных тропизмов (небезразличность направлений при безразличности положений) и в отсутствии право-левосторонней симметрии (присущей зрительному полю). Преобладание топологии над метрикой сказывается, конечно, и в том, что моторному полю не свойственны прямые линии и различение их от кривых (в этом оно отличается от зрительного); далее, ему не свойственны устойчивые, идентичные линии, в биомеханике это выражается тем, что последовательные движения циклического характера никогда не повторяют друг друга вполне точно (рис. 28, *см. рис. 64 в кн. 1. — Примеч. ред.*). Координатную сетку моторного поля в отличие от сетки эвклидово-декартовой геометрии приходится считать, во-первых, не прямолинейной, во-вторых, колышащейся, как паутина на ветру. "Колыхания" ее, во всяком случае, однако, не заходят так далеко, чтобы нарушать топологические отношения и нулевого порядка (например, категория "между") и первого, а может быть, и более высоких порядков.

Некоторые из уловимых сейчас свойств моторного поля представляют уже несомненный интерес для теории локализации. Прежде всего глубоко замечательно присущее моторике свойство безразличия к масштабу и положению производимого движения, о чем уже была речь выше. Совершенно очевидно, что каждый из этих вариантов движения (например, рисование круга маленького и большого, перед собой или сбоку, на горизонтальной бумаге и вертикальной доске) требует совершенно иной мышечной формулы, более того, зачастую совершенно иного ассортимента включаемых в дело мышц. Близкая к одинаковости легкость и точность выполнения всех этих вариантов свидетельствует о том, что все эти варианты определяются в конечном счете одной и той же верховной руководящей энграммой, по отношению к которой энграммы размера и положения занимают подчиненные места. Те энграммы, которые определяют далее мышечную структуру каждого из конкретных вариантов, лежат, очевидно, еще ниже, как это было разобрано в 4-м разделе очерка, а именно в области *C* (см. рис. 21), тогда как энграммы размера и положения в пространстве относятся уже к области *B*.

Отсюда приходится сделать вывод, что верховная энграмма, которую можно было бы назвать энграммой данного топологического класса, уже чрезвычайно структурно далека (а потому, вероятно, и локализационно далека) от какого бы то ни было сродства с мышечно-суставными схемами: она целиком геометрична, представляет собой очень абстрагированный моторный образ пространства. Это заставляет думать, пока еще в порядке гипотезы, но очень настойчиво напрашивающейся, что область локализации этих верховных моторных энграмм обладает и сама топологической упорядоченностью по типу внешнего пространства или моторного поля (во всяком случае, отнюдь не по типу мышечно-суставного аппарата). Иными словами, есть немалые основания полагать, что в верховном моторном центре мозга (*очень возможно,* что это есть кора полушарий) локализационно отображено не что иное, как какая-то проекция самого внешнего пространства в том виде, в каком оно моторно дано субъекту. Эта проекция, по всему предыдущему, должна быть конгруэнтной с внешним пространством, но конгруэнтной только топологически, а совсем не метрически. Этим соображением вполне устраняются все опасения насчет возможности компенсирования перевернутой проекции сетчатки (3-й раздел очерка) и многие другие в том же роде.

10. Зак. 4414

Конкретизировать в большей мере, как именно возможна такая топологическая проекция пространства в центральной нервной системе, не представляется сейчас возможным, хотя и думается, что это затруднение есть для физиологии только вопрос времени. Надо только оговориться, что топологические свойства проекции пространства в центральной нервной системе могут на поверку оказаться очень неожиданными и странными: не следует надеяться увидеть в головном мозгу что-либо вроде фотографического снимка пространства, хотя бы и очень деформированного. Самый же факт наличия в верховном отделе центральной нервной системы проекции именно пространства, а не мышц и не сочленений представляется мне сейчас более вероятным, чем что бы то ни было другое.

6. Принцип "равной простоты"

Теперь своевременно будет дать общую формулировку того эвристического принципа, к частной модификации которого я уже прибегал выше (в 3-м разделе очерка), и рассмотреть применимость его на некоторых примерах. Этот принцип я назвал бы *принципом равной простоты.*

Начну с примеров не физиологических. Я имею в своем распоряжении три прибора, с помощью которых можно начертить окружность: круглое лекало, циркуль и эллипсограф. Окружность того радиуса, которым обладает лекало, может быть вычерчена с одинаковой легкостью и лекалом, и циркулем. Эллипсографом можно также начертить окружность, поскольку она есть частный случай эллипса, но это несколько сложнее, чем сделать то же самое циркулем или лекалом. Если мы возьмем окружность какого-нибудь иного радиуса, то лекало сразу окажется неработоспособным. Циркуль с одинаковой легкостью начертит круг любого радиуса. Данный конкретный эллипсограф сможет вычертить окружность лишь одного определенного радиуса и отпадет поэтому вместе с лекалом. Если же мы захотим вычертить эллипс, то с эллипсографом это удастся с той же самой затратой труда, не большей и не меньшей, с какой мы получили на нем окружность, а циркуль и лекало откажутся работать.

В этом примере мы имеем перед собой многообразие кривых второго порядка, отличающихся: а) радиусами и б) эксцентриситетами. Один из наших приборов — лекало — дает с большой простотой только одну кривую и совсем не может дать остальных. Второй прибор дает *с равной простотой* все вариации радиусов, но только при одном эксцентриситете — *нуле,* свойственном окружности. Третий прибор дает с равной простотой (хотя и с меньшей по абсолютной величине, чем циркуль) все эксцентриситеты, но только один радиус. Окружность радиуса лекала доступна всем трем приборам, но функциональная зависимость их простоты от возможных вариаций во всех трех случаях совершенно различна. Тип этой функциональной зависимости совершенно точно определяет собой схему конструкции прибора.

На математическом языке предыдущий пример можно изложить так. Обозначим степень простоты (например, скорость выполнения, или единицу, деленную на время выполнения, и т.п.) через S, радиус окружности — через r, эксцентриситеты — через e. Тогда для всех наших приборов

$$S = F(r, e) \qquad (6)$$

Для лекала радиуса R имеем

$$F(r, e) = 0; \; F(R, O) \neq 0. \tag{6a}$$

Для циркуля

$$F(r, e)_{e \neq 0} = 0; \; F(r, O) = \text{const} \neq 0. \tag{6b}$$

Для эллипсографа

$$F(r, e)_{r \neq R} = 0; \; F(R, e) = \text{const} \neq 0. \tag{6c}$$

Каждое из уравнений (6b) и (6c) можно изобразить плоскостью. Уравнение (6a) есть отрезок прямой, совпадающей с прямой пересечения плоскостей (6b) и (6c).

Возможны примеры, в которых мера простоты меняется не скачком от нуля к конечному значению, как в предыдущем случае, а переходит от одного значения к другому с известной непрерывной плавностью. Например, при умножении чисел на арифмометре Однера мера простоты (или скорость работы) убывает параллельно с возрастанием числа знаков множителя и числа единиц в каждом из этих знаков. В то же время эта мера простоты инвариантна по отношению к количеству цифр множимого. У счетной машины "Миллионер" мера простоты инвариантна, кроме того, и к числу единиц в знаках множителя, завися по-прежнему от числа его знаков. Наконец, у счетной линейки она почти инвариантна по отношению ко всем свойствам обоих сомножителей.

Во всех этих случаях мы сталкиваемся с тем фактом, что разные структурные схемы приборов могут выполнять одни и те же совокупности многообразных операций, но что разница в их устройстве всегда влечет за собой различие в виде, который принимает функция S. Мы можем утверждать с большой степенью уверенности, что чем резче изменяется величина S при переходе от одного элемента многообразия к другому, смежному с ним, тем в меньшей степени структурные особенности схемы данного прибора приспособлены к такому переходу. С другой стороны, у каждого данного прибора "линии равной простоты", т.е. те переходы от одного элемента выполняемого многообразия к другому, которые .не вызывают никакого изменения простоты манипулирования, соответствуют переходам, наиболее близко связанным со структурной схемой прибора.

Отсюда получается следующая формулировка "принципа равной простоты": для всякой структурной схемы, которая может выполнять множество различных элементарных процессов, принадлежащих к некоторому многообразию, линии равной простоты соответствуют тем направлениям на многообразии, передвижение по которым не меняет ни структурных принципов, ни принципов функционирования схемы. Вместо понятия "простоты", не обладающего конкретностью, можно подставлять ряд параллельных ему в зависимости от содержания рассматриваемого случая: понятия скорости выполнения, степени точности, степени вариативности и т.п. Для общей формулировки я избрал понятие "простоты" как наиболее общее именно в силу его малой конкретности.

Из изложенного понятна эвристическая ценность принципа. Если мы имеем дело с какой-нибудь структурной схемой, построение которой нам неизвестно, но функционирование которой в разнообразных условиях может быть наблюдаемо, то из сопоставления изменений переменной S (скорость, точность, вариативность и т.п.) как функции каждого из переменных условий с изменениями

самих условий можно делать определенные выводы о структуре, прямым путем для нас недоступной.

Допустим, например, что мы присутствуем на киносеансе, не имея никакого понятия об устройстве кино. Мы можем предположить (как это, может быть, и сделал бы наш прадед), что мы имеем дело с театром марионеток. Мы поражаемся разнообразию и богатству показываемого нам материала, ибо он далеко превосходит все то, что делали когда-то марионетки, но мы имеем пока неоспоримое право считать видимое нами на экране лишь количественным колоссальным усовершенствованием принципа марионеток. Правда, в театре марионеток мы никогда не видели, например, моря. "Ну, что же, — скажет прадед, — очевидно, сейчас изобрели очень ловкую механическую имитацию моря". В старом театре марионеток не умели делать удаляющуюся фигуру уменьшающейся, а в кино это получается, но опять-таки можно усмотреть и в этом новейшее достижение техники кукольного театра. *Все это, хоть и сложно, но возможно.*

Между тем очень легко выяснить, что мы имеем дело не с театром марионеток, и выяснить именно с помощью принципа равной простоты. Для этого достаточно выбрать два объекта, резко различных по трудности выполнения для кукольного театра, например вертящееся колесо и бурное море, а затем, не обращаясь к технике кинотеатра (мы условились, что техническое устройство нам недоступно), обратиться в бухгалтерию кинофабрики и спросить, во что обходится получение возможности показа на экране того и другого объекта в течение одной минуты. Как только мы выясним, что съемка 30 м фильма стоит для обоих объектов одинаково (точнее говоря, что стоимость такой съемки зависит от каких угодно побочных причин, но никак не от механических свойств объекта), тотчас же гипотеза марионеточного театра отпадает. Вообще умелое интервью с бухгалтерией может дать весьма много положительных технических указаний. Напомню, что именно таким путем Д.И. Менделеев выяснил секрет важного французского взрывчатого вещества.

Для кукольного театра доступно (по крайней мере, в потенции) все то, что доступно для кино. Но это "все" *принципиально недоступно* для него с той *равной степенью простоты,* которая имеет место для кино. Те же самые взаимоотношения мы встретим между граммофоном, с одной стороны, и говорящей машиной, какой нашумел, например, 100 лет назад фон Кемпелен, — с другой. Вся структурная сущность граммофона в том, что ему безразлично, какие именно звуки передавать, тогда как фон Кемпелену пришлось бы делать для каждого нового тембра новые механические глотки. В рассказе Л. Андреева сельский дьякон был приведен в очень забавное столкновение с "принципом равной простоты" применительно к граммофону. Он никак не решался допустить, что граммофон мог бы с одинаковой легкостью воспроизвести и шансонетку, и голос Сына человеческого.

Описанный принцип обещает оказаться чрезвычайно плодотворным в применении его к структурному анализу рецепторных и эффекторных функций центральной нервной системы. Остановлюсь на некоторых примерах. Во 2-м разделе очерка я привел круговое движение выпрямленной руки по типу, изображенному на рис. 22, в качестве примера плавного перераспределения мышечных напряжений. Сейчас можно будет снова обратиться к тому же движению с иной точки зрения. Если описать рукой круг прямо перед собой, затем прямо сбоку, затем вокруг какой-нибудь промежуточной оси, то мышечная и иннервационная схемы

движения будут во всех трех случаях резко различными. Между тем и субъективно все три перечисленных движения очень мало различны между собою по трудности, и объективно обнаруживают примерно одинаковую степень точности и вариативности. Это дает нам право считать с большой степенью вероятности, что структура того центрального комплекса, который определяет собой выполнение данной серии движений, гораздо теснее связана с пространственной формой, нежели с мышечной схемой, ибо все три испробованных варианта кругового движения лежат на линиях "равной простоты" по свойствам движений и по свойствам формы, но никак не по свойствам мышечной схемы.

Этот вывод, может быть, будет более ясным из следующего примера, подробно проанализированного мной ранее. Для выполнения какого-либо точного автоматизированного движения, например скорописи, положения и способы фиксации промежуточных звеньев руки почти вполне безразличны. Я пишу одним и тем же почерком и примерно с одинаковой легкостью как при опирании предплечья о стол, так и при держании руки на весу, притом в различных позах. С точки зрения мышечной структуры все эти варианты резко различны, и если предположить, что объектом выработки двигательного навыка была одна из этих структур, то другие должны были бы оказаться совершенно вне этого навыка, т.е. на совершенно другом "уровне простоты".

Факт одинаковой легкости и сохранности почеркового навыка сразу свидетельствует о том, что навык письма не есть навык мышечной схемы и что, следовательно, та инстанция центральной нервной системы, которая усваивает эти навыки, близка с топологией почерка, но далека от сочленений и мышц. Все эти и многие подобные примеры должны быть проанализированы экспериментально количественно и качественно, и каждый такой анализ позволит высказывать новые обоснованные утверждения о структуре деятельности двигательных отделов центральной нервной системы.

Очень интересный пример применимости принципа "равной простоты" может быть взят из области психологии восприятия, пока что несравненно более разработанной, нежели структурная физиология движений. Этот пример относится к теории слуха. Для объяснения явлений, происходящих во внутреннем ухе и обусловливающих различение звуков, предложен ряд гипотез (Helmholtz, 1885; Ewald, 1889—1903; Hering, 1920; Grey, 1920), из которых до настоящего времени наиболее популярна гипотеза Helmholtz. По этой гипотезе каждое из многочисленных волокон membranae basilaris является упругой струной, настроенной на одну определенную звуковую частоту. При действии этой частоты на кортиев орган и основную перепонку данная струна приходит в состояние резонансных колебаний, причем механически раздражает связанные с ней чувствительные окончания n. acustici. Таким образом, каждое из чувствительных окончаний последнего раздражается лишь одной определенной звуковой частотой, и распознавание частот в центральной нервной системе сводится к тому же процессу, который обеспечивает распознавание осязательных местных знаков (Lokalzeichen). Сложные тембры или созвучия разлагаются в основной перепонке на свои составляющие тоны, или гармоники, чем и объясняется распознавание тембров и расчленение созвучий.

Против этой гипотезы было сделано много серьезных психофизиологических возражений. Очень скоро к ней понадобились поправки и добавления. Уже сам

Helmholtz не смог объяснить с ее помощью ощущения консонанса и диссонанса, для которых ему пришлось допустить наличие особого аппарата, воспринимающего биения (Schwebungen). Многочисленные позднейшие добавления и надстройки (Alt, Grey, Hermann, Waetzmann, Budde-Feldafing, Köhler, Réwész, Brentano и др.) самым фактом своей необходимости ставят гипотезу Helmholtz под сомнение. Очень возможно, что если бы появилась новая гипотеза, достаточно освещающая все необходимые явления и притом более простая, то она возобладала бы над старой в силу присущего нам всем (к слову сказать, ничем объективным не гарантированного) убеждения, что истинное объяснение наиболее просто[1]. Однако такой гипотезы до настоящего момента не предложено. Между тем гипотезе Гельмогольца могут быть предъявлены чрезвычайно серьезные отводы, никак не связанные с вопросом о ее простоте или сложности. Для этого достаточно доказать (и в литературе имеется уже огромное количество экспериментальных и клинических фактов в этом направлении), что линии "равной простоты" располагаются для функции слухового восприятия существенно иным образом, нежели для резонаторной арфы. Ограничусь двумя пунктами.

Мы сравниваем по образу функционирования неизвестный нам в своем устройстве слуховой аппарат с известной физической моделью — набором резонаторов, который я для образности назвал резонаторной арфой. Для последней из всех операций наиболее проста операция определения абсолютной высоты тона, что вытекает из самого ее устройства. Определение соотношения высот двух тонов с ее помощью есть уже вторичная операция, осуществимая лишь после определения абсолютных высот составляющих и поэтому более сложная. Между тем музыкально-педагогическая статистика (Kries, 1902, 1908; Abraham, 1920; Réwész, 1913; и др.) показывает, что абсолютный слух на музыкальные тоны представляет собой редкое исключение, тогда как относительным слухом обладает большинство людей. Иными словами, для органа слуха *проще* относительное определение, нежели абсолютное.

С другой стороны, чистый музыкальный тон проще по своей акустической структуре, нежели звуки человеческой речи: гласные с их многочисленными формантами и согласные с их шумовыми призвуками. Для резонаторной арфы определение их возможно не иначе, как с помощью разложения их на простые составляющие и только после определения этих составляющих. Следовательно, при ее устройстве определение речевых звуков сложнее определения чистых тонов и основано целиком на последнем. Что касается органа слуха человека, то музыкальный (относительный) слух имеют многие, но речь понимают и воспроизводят *все*. Описаны очень яркие случаи "музыкальной глухоты" (Alt, Köhler, 1910). У Köhler один пациент не только не понимал, что такое мелодия, но даже не мог отличить высокий звук от низкого, а между тем прекрасно воспроизводил все оттенки речи и акцента, недурно подражая провинциальным говорам при рассказывании анекдотов (физических дефектов слуха у таких лиц не имеется). Опять

[1] Это убеждение может очень легко оказаться ложным. Новейшая физика дает этому разительные примеры. Теории de Broglie, Heisenberg, Schrödinger, Dirac гораздо сложнее тех представлений, которые ими вытеснены. Поставить простоту критерием истинности — значило бы в принципе утверждать, что категории логики и психологии господствуют над категориями внешней природы и определяют их, а на априоризм такого рода мы ничем не уполномочены.

налицо извращение уровней простоты по сравнению с гипотетическим резонаторным аппаратом.

Из обоих сопоставлений ясно, что орган слуха дает существенно другую градацию простоты и сложности, нежели гипотетический резонансный механизм, градацию, приводящую в некоторых примерах к прямой *перестановке порядка сложности.* Именно это обстоятельство решающе опасно для гипотезы Helmholtz, а отнюдь не ее собственная простота или сложность.

Разобранный в 3-м разделе очерка пример неувязки теории мышечной локализации в коре с идеей локализованного условного рефлекса есть, очевидно, частный случай применения обрисованного здесь общего принципа. Дальнейшие опыты и наблюдения над изменениями точности движений при разных их вариациях и над соответствующими изменениями широты переноса двигательного навыка смогут вскрыть для нас ряд структурных закономерностей моторного поля и всей совокупности двигательных функций мозга — закономерностей, которых в настоящий момент никоим образом нельзя предвидеть. Одно можно предусматривать с уверенностью уже теперь: каждое новое познание в области координационной структуры будет в то же время и новым познанием по линии локализационной структуры. И в тот день, когда мы точно познаем одну, мы сможем сказать, что тем самым знаем и вторую.

Циклическая форма взаимодействия между центральной нервной системой и внешним окружением, обнаруживающаяся в процессах управления движениями в виде рефлекторного кольца, была описана автором впервые в 1934 г. в главе "Физиология движений" руководства "Физиология труда" под редакцией Г. Конради, А. Слонима и В. Фарфеля. Приводим оттуда несколько выдержек (с. 431—449).

Периферический цикл взаимодействий. Периферический двигательный аппарат осуществляет свою деятельность путем сложного взаимоотношения с внешней средой. Об этом уже было рассказано на примере ряда движений. Мера мышечного напряжения зависит как от иннервационного состояния мышцы, так и от значения сочленовного угла, т.е. от мгновенного положения, занимаемого системой звеньев. Отсюда следует, что, с одной стороны, мышечное напряжение есть одна из причин движения. так как оно есть сила, приложенная к звену и вынуждающая его изменить свое положение. Однако, с другой стороны, движение звеньев, сопровождающееся изменениями сочленовных углов, изменяет расстояния между точками прикрепления мышцы и тем самым является причиной изменения ее напряжения. Здесь имеет место характерная для двигательной физиологии циклическая форма взаимодействия: мышечные напряжения влияют на протекание движения, а движение влияет на мышечные напряжения.

Такие циклические причинные зависимости хорошо известны в механике и выражаются на математическом языке так называемыми дифференциальными уравнениями.

Центральный цикл взаимодействий. Над этой периферической системой циклических взаимодействий надстроена другая система, деятельность которой точно так же протекает по типу взаимодействия. Это центральная нервная система со всеми ее многочисленными аппаратами. Здесь имеют место взаимодействия и циклические связи разных порядков. Прежде всего первичный эффекторный (двигательный) импульс, направленный из центральной нервной системы через клетки передних рогов в мышечную систему, приводит последнюю в движение или изменяет состояние ее движения. Это движение или изменение движения воспринимается тотчас же многочисленными нервными окончаниями, разбросанными в сухожилиях, мышцах и сочленовных сумках и относящимися к обширной системе так называемых проприоцептивных нервных аппаратов. Все эти проприоцепторы направляют в чувствительные области центральной нервной системы, т.е. в зрительные бугры, мозжечок и центральную область коры полушарий, центростремительные импульсы, сигнализирующие головному мозгу об изменениях, совершающихся в положении, кинематике и динамике периферического двигательного аппарата. На эти сигналы проприоцептивной системы центральная нервная система реагирует изменениями своих эффекторных импульсов, координирует на основании донесений с периферии деятельность возбуждаемых ею мышц с состоянием внешнего силового поля и вносит коррективы в первоначально данный двигательный импульс. Если схематизировать только что сказанное, то получится, что двигательные импульсы суть причина изменения общего внешнего силового поля,

а последнее через посредство центростремительной сигнализации проприоцепторов есть, в свою очередь, причина изменения и возникновений новых двигательных импульсов. Здесь опять налицо циклическое взаимодействие. Более чем вероятно, что и это взаимодействие сможет когда-либо быть представлено в виде дифференциального уравнения, но сейчас об этом еще рано говорить.

Наряду с проприоцепторами и другие чувствительные аппараты включаются при движении в циклические системы, подобные только что описанной. Движение корректируется и зрением, и осязанием, иногда и обонянием (собаки), и слухом (кошки). Можно сказать, что все рецепторные поля, испытывающие изменения в результате движений животного, влияют через центральную нервную систему на изменения этих самых движений. Все бесчисленное множество фактов, имеющихся к настоящему времени, доказывает с несомненностью, что следует уже не ремонтировать старую гипотезу гитциговских времен, а сломать ее и заменить новой теорией. Сейчас трудно спорить с тем, что эта теория должна основываться на указанных выше фактах циклических взаимодействий.

Спайка между деятельностью центральной нервной системы и протеканием движений оказывается значительно более тесной, нежели в областях рефлексов других видов, именно в силу господствования здесь циклических типов связей. Это обстоятельство и дало мне повод охватить двигательные реакции одним обобщающим названием *рефлекторного кольца* в отличие от *рефлекторных дуг.*

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

Очерк шестой[1]

КООРДИНАЦИЯ ДВИЖЕНИЙ В ОНТОГЕНЕЗЕ[2]

1. Противоречия развития между филогенезом и онтогенезом

Разъяснение проблемы координации движений и двигательного навыка будет далеко не полным, если не коснуться, хотя бы в самом кратком очерке, вопроса о возникновении и развитии координации движений и двигательного навыка у отдельного индивида. Вопросы филогенеза движений и морфогенеза двигательного аппарата многократно освещались в литературе (Spatz, 1927; Veraguth, 1921; Гуревич, 1930; Rose, 1935; Edinger и многие другие), но по вопросам онтогенеза моториума и моторики литературных данных несравненно меньше.

В этой области принято ссылаться на "биогенетический принцип" в формулировке Геккеля и давать ему при этом чрезвычайно распространительное применение и толкование. Крупный ученый и популяризатор Геккель имел в виду в сущности лишь ранние стадии эмбриогенеза и притом только вопросы развития форм. Те же, кто развивает идеи биогенеза, пытаются иногда настаивать на параллелизме обоих рядов, онто- и филогенеза, там, где параллелизма не только нет, но где его никак не может быть. Не покушаясь на развернутую критику проблемы биогенеза в целом, мы считаем необходимым кратко остановиться на противоречиях между фило- и онтогенезом в рассматриваемой нами области развития двигательной сферы человека.

Во-первых, двигательный аппарат древнего низкоразвитого позвоночного полностью и в совершенстве отвечал тем двигательным задачам, которые сообща составляли его биологический "экзаменационный лист". Моториум же человеческого младенца, а тем более эмбриона или плода почти никаких двигательных задач разрешать еще не может.

Во-вторых, хотя созревание центрально-нервных двигательных приборов индивидуума совершается и пренатально и постнатально с известной постепенностью и следует в общих чертах за порядком, имевшимся в филогенезе, функциональная готовность центрально-нервных двигательных приборов к разрешению в полном объеме тех координационных задач, с которыми они будут успешно

---

[1] Очерки 4-й и 5-й вошли в книгу "О построении движений" (*Примеч. ред.*).

[2] Очерк был опубликован в книге "Ученые записки Центрального института физической культуры" (М., 1947. Вып. 2).

справляться у взрослой особи, наступает гораздо позже. Таким образом, на каждой ступени онтогенеза задачи, являющиеся "двигательным потолком" особи, разрешаются всегда так, что в этом, несомненно, соучаствуют вполне созревшие *вышестоящие* и филогенетически более молодые образования, которых у низшего позвоночного нет и следа (Spatz, Minkowsky, 1917).

Когда, например, ребенок на втором году жизни, играя, ползает по полу, его моторная кора и пирамидная система находятся анатомически уже в совершенно зрелом состоянии и налагают свой стилизующий отпечаток на этот в самом основном экстрапирамидный (стриальный, см. ниже) акт. У пресмыкающегося, напротив, нет никаких следов моторной коры полушарий и пирамидной системы, и стриатум ведет локомоторный процесс переползания совершенно автономно, что не может не привести к существенным отличиям от ползания ребенка.

В-третьих, процесс филогенетического развития центральной нервной системы уже не раз правильно характеризовали как процесс не только и не столько *разрастания,* сколько *обрастания* сверху новыми нейронными этажами и новыми, более молодыми и совершенными нервными аппаратами. Этот процесс проявляется попутно с таким морфологическим постепенным обогащением и его скачками еще и в неуклонном передвижении седалищ важнейших физиологических отправлений все ближе к переднему (оральному) концу мозга. Не только вновь образовавшийся центр А перенимает функции, ранее локализовавшиеся в более древнем ядре В, отныне уже обратившемся в подчиненную систему, но и многочисленные функции, осуществлявшиеся до сих пор еще более старыми и низовыми центрами С, D и т.д., перекочевывают теперь в ядро В.

Таким путем наиболее древние центры вроде, например, спинного мозга постепенно все в большей степени утрачивают свою самостоятельность и инвентарь выполнявшихся ими движений. А это имеет непосредственное значение для онтогенеза; чем меньше самостоятельности у низового центра и чем более ограничены в количественном отношении его двигательные возможности, тем менее он в состоянии стать викарным заместителем при компенсациях, при которых полностью или временно выбывают из строя высшие центры (например, при их ранении или переутомлении), стать пунктом для формирования новых двигательных автоматизмов и т.д.

Например, спинной мозг у рыб и амфибий в состоянии компенсаторно выполнять такую сложную двигательную задачу, как локомоции, а паллидум способен к подобному же викариату у рептилий и птиц, в известной мере и у млекопитающих. У человека же спинной мозг совсем, а паллидум почти совсем непригодны для освоения новых навыков и обслуживания движений высших рангов чем-либо иным, кроме самых примитивных атоматизмов.

Итак, спинной мозг или паллидум древней рыбы или земноводного функционально очень мало похожи на гомологичные им органы примата или человека, как взрослого, так и грудного ребенка. Поэтому с самого начала трудно ожидать здесь каких-либо точных соответствий между ходом развития в фило- и онтогенезе. И это несмотря на благоприятный, казалось бы, для параллелизма принцип постепенного обрастания, воспроизводимого довольно точно столь же постепенной миелинизацией мозговых проводящих путей, происходящей в позднем человеческом эмбриогенезе и в раннем послеутробном периоде.

2. Развитие координационных систем в филогенезе

Разрешая усложняющиеся координационные задачи и попутно обретая возможность более высокопробного выполнения древних движений, центральная нервная система позвоночных проходит в своей эволюции несколько последовательных этапов. Эти этапы не так резко разграничены между собой, как это принято изображать ради удобства и схематизации, но, несомненно, являются своего рода качественными скачками вперед.

Каждая более новая координационная система, обогащающая животный вид рядом новых движений и обозначаемая нами как очередной уровень построения движений, вносит в обиход центральной нервной системы животного прежде всего новый класс сенсорных коррекций. Это значит, что новая система вносит если не новые по качеству воспринимаемого материала чувствительные периферические приборы[1], то обязательно новые способы восприятия этого материала, оценки его, осмысления, синтезирования с данными, сообщаемыми другими органами чувств. Все это приводит к измененному на новый лад отношению к внешнему миру. Поэтому анатомические субстраты координационных уровней, последовательно возникающих в филогенезе, обязательно включают как моторные, так и сенсорные центры, взаимосвязь которых в пределах данного уровня бывает особенно тесна.

Так, параллельно с моторными ядрами уровня проприоцептивного рефлекторного кольца, которым у древнейших позвоночных служат клеточные элементы спинного мозга, а у млекопитающих (в результате энцефализационного перемещения функций к оральному концу) филогенетически сравнительно молодые образования группы красного ядра, развиваются сенсорные древние центры покрышки и гипоталамуса. Развитие уровня синергий, эффекторно обслуживаемого паллидумом, способствует (а может быть, и предшествует) формированию основных массивов главного сенсорного средоточия всего мозга — зрительного бугра. Пирамидно-стриальному уровню пространственного поля, уже наполовину кортикальному, соответствует появление транзитных ядер метаталамуса — наружных и внутренних коленчатых тел, узла ganglion habenulae и обширных первично сенсорных полей коры: проприоцептивно-осязательного — в заднецентральной извилине, зрительного — в затылочной, слухового — в височной доле полушария и т.д.

Уровень предметного действия эффекторно оснащен группами корковых премоторных полей коры (6, 8, 42), сенсорно — системой теменных полей, располагающихся центрально, между вторичными и третичными зонами осязательных, слуховых и зрительных кортикальных центров. К этому же уровню, наиболее сложному и по обилию движений, и по разнообразию сенсорных корректировок, и, наконец, по множественности доступных для него высших автоматизмов, примыкает в качестве вспомогательного субстрата мощная лобно-мосто-мозжечковая система. Она попутно простирает свои ветви глубоко в экстрапирамидную систему, а в основном связывает эффекторные лобные центры уровня с сенсорной корой мозжечка.

---

[1] Это бывает очень редко, так как в основе каждый разряд чувствительности — зрение, слух, осязание и т.д. — очень древен и ведет свое начало во всяком случае еще из превертебральной эпохи.

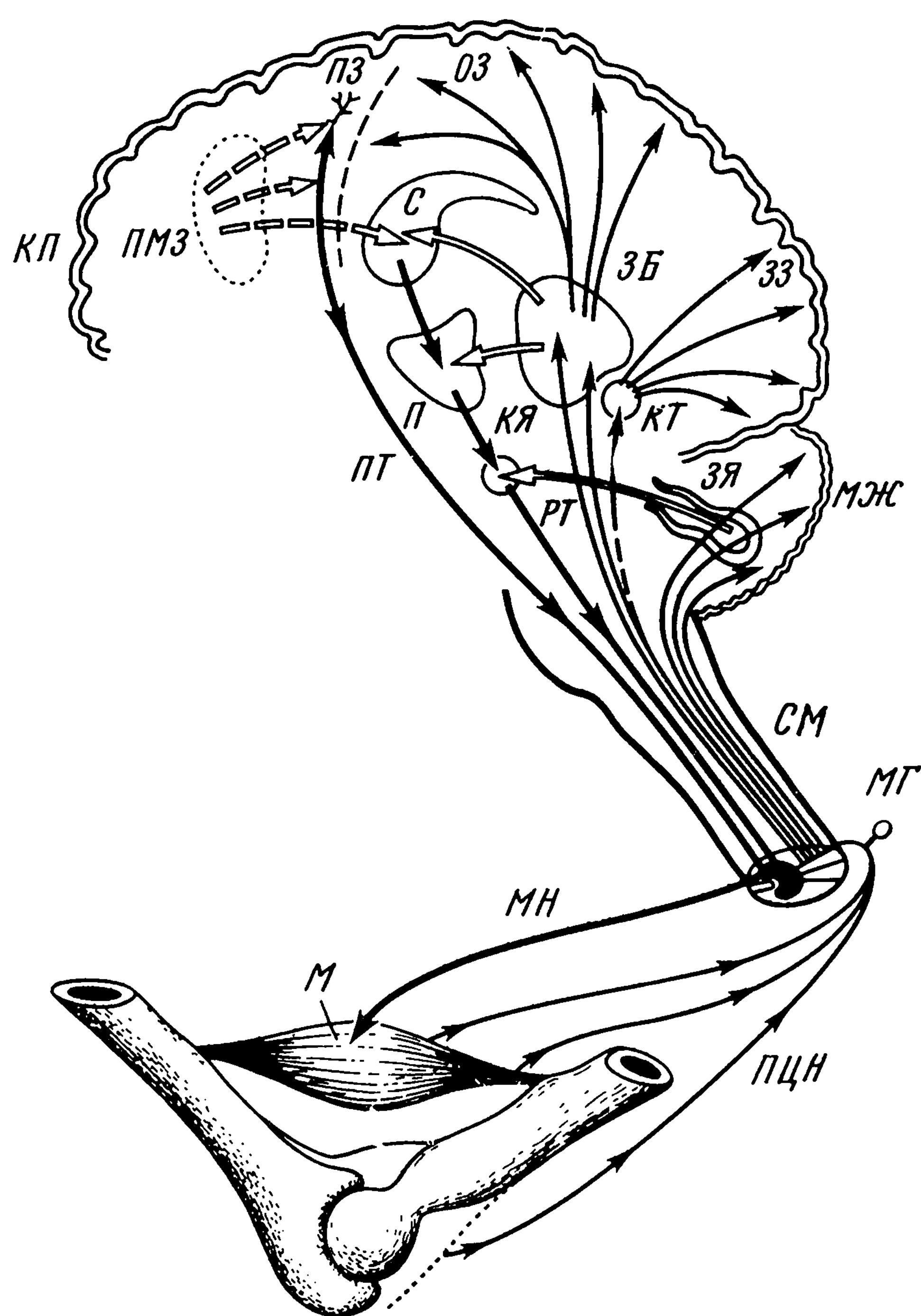


Рис. 39. Полусхема ядер и проводящих путей, участвующих в осуществлении "рефлекторных колец" разных уровней построения
Подробные пояснения в тексте

Моторные центры головного мозга формируются в эмбриогенезе из двух зародышевых пластинок, которые Spatz обозначает как пристроечную (Flügelplatte) и основную (Grundplatte). Из последней, расположенной вентрально, формируется в основном экстрапирамидная, а из первой, дорсальной, — пирамидная моторная система.

На рис. 38. (см. *рис. 79 в кн. 1. — Примеч. ред.*) дана схема основных нервноклеточных ядер и проводящих путей спинного и головного мозга, по которой читателю будет удобнее проследить все описанные в последующем сотношения. Сошлемся здесь также на рис. 39.

Общий порядок развития и принадлежность составных частей той и другой системы к тем или иным мозговым зародышевым пузырям удобнее всего показать в табл. 1.

Почти все органы, перечисленные в таблице, не только имеют определенные хронологические пункты возникновения в сложной истории последовательного "обрастания" мозга, но и сами распадаются на резко разновозрастные подразделы, отличающиеся друг от друга и по микроскопическому строению, и по связям, и по функциям. Ряд примеров будет приведен ниже.

Функциональные соотношения между этими органами, обнаруживающиеся в процессах координации движений, представлены полусхематически на рис. 39. Необходимо напомнить, что в основе координирования двигательных актов лежит принцип *сенсорных коррекций,* осуществляемых в очень большой части проприоцептивной системой. Проводящие пути проприоцептивной сигнализации вместе с двигательными или эффекторными путями, направляющимися центробежно от ядер мозга к мышцам, образуют собой то, что обозначается нами как рефлекторное кольцо (см. также рис. 38).

Сенсорные сигналы с периферии тела поднимаются по задним столбам спинного мозга *СМ* и достигают коры мозжечка *МЖ,* зрительного бугра *ЗБ* и его придатка — коленчатого тела *КТ.* Из этих ядер новые нейроны передают переработанные и подвергшиеся отсеву сигналы в сенсорные области коры полушарий *КП*: в зрительную зону *ЗЗ,* осязательно-проприоцептивную зону *ОЗ* и т.д. Передаточные (ассоциационные и вставочные) нейроны связывают эти сенсорные центры с эффекторными. Таковы пути от мозжечка (его зубчатого ядра *ЗЯ*) к красному ядру *КЯ,* от зрительного бугра *ЗБ* к паллидуму *П* и стриатуму *С* и т.п.

Таблица 1

Формирование моторных центров головного мозга

Зародышевая пластинка	Rhombencephalon	Mesencephalon	Diencephalon	Telencephalon
Дорсальная — пирамидная система	Кора мозжечка	Tectum Четверохолмие	Thalamus Corpora geniculata Ganglion habenulae	Кора полушарий большого мозга
Вентральная — экстрапирамидная моторная система	Зубчатое ядро мозжечка	Красное ядро	Hypothalamus Паллидум	Стриатум nucleus caudatus putamen
	Ядро Дейтерса	Ядра глазодвигательного нерва	Tuber cinereum Corpus Luysii	Некоторые отделы коры полушарий

От последнего начинается лестница нейронов экстрапирамидного эффекторного пути: стриатум *С* — паллидум *П* — красное ядро *К* — рубро-спинальный тракт *РТ* — спинной мозг *СМ.* Из пирамидной эффекторной зоны коры *ПЗ* начинается пирамидный тракт *ПТ,* тянущийся без перерывов от клеток передних рогов спинного мозга. Расположенная впереди от пирамидной зоны коры премоторная зона *ПМЗ* посылает сложные импульсы высшей координации в пирамидную и в экстрапирамидную систему.

Эффекторные импульсы, объединяясь в клетках передних рогов спинного мозга, направляются к мышцам *М* по двигательным нервным волокнам или мотонейронам *МН.* В рецепторах, разбросанных в самой мышце, ее сухожилиях, суставных сумках и т.д., возникают ответные сенсорные сигналы, передаваемые в спинной мозг по проприоцептивным нейронам *ПЦН* через межпозвоночные ганглии *МГ* и далее кверху, как указано выше.

В последующем тексте будет дана очень краткая характеристика отдельных координационных уровней построения движений, субстраты которых изображены на обеих схемах (см. рис. 38 и 39).

Обратимся к очерку развития упомянутых в табл. 1 мозговых образований.

Мозжечок принято разделять на древний (palaeocerebellum) и новый (neocerebellum). К первому относится средняя непарная часть мозжечка — червь и небольшие дольки полушарий его — flocculus, имеющиеся у всех позвоночных, за исключением ланцетника, и достигающие высокого морфологического развития у птиц. Под новым мозжечком подразумеваются полушария мозжечка, появляющиеся в филогенезе только у млекопитающих. Онтогенетически древние мозжечковые отделы уже вполне зрелы и обложены миелином к моменту рождения человеческого плода, тогда как кора его полушарий миелинизируется лишь в течение первых шести месяцев жизни. Зубчатое ядро мозжечка — его эффекторный аппарат — точно так же расчленяется на два отдела, соответственно тесно связанные с древним и новым мозжечком. Оба эти отдела дают обильную сеть проводящих путей, оканчивающихся либо в красном ядре, либо в ядре Дейтерса.

Красное ядро, самый видный из представителей экстрапирамидной системы в

среднем мозгу, также распадается у человека и высших обезьян на две части, называемые palaeo- и neorubrum. Древнейшая часть ядра, крупноклеточная, расположена каудально. Именно от нее начинается рубро-спинальный двигательный путь Монакова. Она имеется у всех млекопитающих, вплоть до низших[1]. По сторонам и впереди нее помещаются более молодые ядра: крупноклеточный отдел с местными связями, ретикулярное ядро, в котором оканчиваются церебеллофугальные пути, и, наконец, собственно neorubrum — ядро с мелкоклеточным строением, связанное по преимуществу с лобной корой и operculum (М.О. Гуревич). Последнее ядро имеется только у самых высших млекопитающих — хищных и приматов. Оно увеличивается и развивается в филогенезе параллельно с корой полушарий. В 3-м разделе очерка нам еще придется уделить особое внимание функциям этого важнейшего моторного узла.

Развивающееся рядом с ним ядро — "черное вещество" (substantia nigra) — еще теснее, чем neorubrum, связано в своем развитии с корой полушарий. Это самое крупное из ядер среднего мозга пигментировано только у человека (пигментацией объясняется и его название) и является сравнительно поздним образованием в филогенезе. Оно распадается на две разновозрастные зоны: более старая зона не пигментирована, бедна клетками и похожа по своему строению на паллидум, с которым и связана очень тесно. Кроме паллидума, "черное вещество" соединено двусторонними проводящими путями как с обоими другими центрами экстрапирамидной системы, красным ядром и стриатумом, так и с корой полушарий.

Самые обширные из мозговых ядер, являющихся субстратами двигательных отправлений центральной нервной системы, развиваются из промежуточного мозга; это гигантская сенсорная система зрительного бугра (thalamus) с его придатками и большой экстрапирамидный эффекторный центр — паллидум.

Система зрительного бугра (мы стремимся дать максимально сжатую, но точную схему) составляется из thalamus в тесном смысле и придатков: metathalamus, к которому принадлежат коленчатые тела — транзитные центры зрения и слуха, и epithalamus, включающего ganglion habenulae — такой же транзитный центр обоняния. В thalamus в тесном смысле следует выделить: 1) разделы, к которым прибывают проводящие сенсорные пути с периферии тела, и 2) разделы, которыми осуществляется двусторонняя нейронная связь с вышестоящими центрами — с корой полушарий. В первых, располагающихся более каудально, оканчиваются нейроны задних столбов, спино-таламического тракта спинного мозга и тройничного нерва, т.е. вся *тангорецепторика* (кроме чувства вкуса), проприоцептивная, осязательная, болевая и температурная чувствительность всего тела. Хорошо известны изобилие центрально-нервных связей thalamus и его богатая архитектоническая расчлененность [Vogt (1927) насчитывает в нем у обезьян свыше 40 цитоархитектонических участков], и на этом мы задерживаться не будем. Для нас важнее отметить резкий перелом, совершившийся со зрительным бугром в эволюционной истории развития и не находящий биогенетического

---

[1] Ни для красного ядра, ни для substantia nigra, ни для corpus Luysii млекопитающих еще не установлены гомологи у рептилий и птиц. Само красное ядро очень сильно изменяется в филогенезе млекопитающих. Для substantia nigra предположительными гомологами у птиц являются nuclei ectopedunculares, для corpus Luysii — nucleus rotundus (Kappers, Spatz).

отражения в онтогенезе человека. Зрительные бугры холоднокровных позвоночных (обычно они именуются lobi optici) представляют собой *верховные* сенсорные центры тангорецепторики, а такая же верховная функция для телерецепторов осуществляется ядрами покрышки среднего мозга. У птиц и млекопитающих с появлением и развитием сенсорной коры полушарий (гораздо более старой, чем моторная) вся чувствительность с известной постепенностью переключается на *двухнейронную* внутримозговую схему: thalamus в тесном смысле становится транзитным центром для тангорецепторики, а его более молодые придатки — meta- и epithalamus — для телерецепторики, передавая сенсорную сигнализацию обоих видов в кору. Как уже давно указывалось (Monakow), эта передача совершается с очень глубокой предварительной переработкой впечатлений в системе thalamus. Необходимо подчеркнуть для понимания дальнейшего, что значительный процент этих сенсорных сигналов отсеивается таламической системой, обращается ею через обширные синаптические связи thalamus непосредственно на экстрапирамидную эффекторику и вследствие этого не достигает порога сознания, обеспечивая в то же время адекватные координированные реакции.

Верховный двигательный центр низших позвоночных (рыб и амфибий) — паллидум — цитоархитектонически построен очень просто. Он не расчленяется на поля: в нем резко преобладает один вид клеток: крупных, с длинными дендритами, похожих на двигательные клетки моторной зоны коры. Внутри самого паллидума пролегает много миелинизированных аксонов, придающих ему бедную окраску (pallidus — бледный). Тесно примыкающее к паллидуму и по связям, и по ходу развития льюисово тело (corpus Luysii) появляется, однако, в филогенезе гораздо позднее паллидума, только у млекопитающих. Сам паллидум очень мало изменяется в филогенезе. Он только начиная с приматов разделяется прослойкой белого вещества на две части. Связи паллидума определяются его срединным положением в экстрапирамидной системе: *к нему* подходят объемистые пучки волокон от его сенсорного спутника — thalamus и от вышестоящего моторного центра — полосатого тела, *от него* отходит массивный проводящий путь к контралатеральному красному ядру (это и есть эффекторный тракт паллидума) и к его менее значительным соседям. У человека к моменту рождения все эти пути покрыты миелином и готовы к действию.

Наконец, из оконечного парного мозгового пузыря telencephalon возникают и развиваются высшие моторные приборы головного мозга, наиболее новые филогенетически: стриатум, или полосатое тело (из вентральной зародышевой пластинки), первичная моторная зона коры — начало пирамидного пути, премоторные и лобные поля коры (все из дорсальной пластинки; см. табл. 1). Стриатум появляется в филогенезе начиная с пресмыкающихся. Его появление ставят в связь с упрочивающимся переходом на сухопутные локомоции (ползание, лазанье по стенам и деревьям), свойственные пресмыкающимся. Он достигает кульминационной точки развития у птиц, не имеющих еще пирамидной системы и полушарий мозжечка. У млекопитающих стриатум разделяется на два территориально далеко раздвигающихся друг от друга парных ядра — хвостатое ядро (nucleus caudatus) и скорлупу (putamen). У человека к моменту рождения стриальная система еще недоразвита и покрывается миелином только к 5—6-му месяцу жизни. Строение стриатума сложнее паллидума в том отношении, что стриатум содержит два вида клеток, причем, однако, не обнаруживает какой-либо цитоархитектонической

расчлененности. Наоборот, putamen очень сходен по своему гистологическому строению с nucleus caudatus.

Из двух типов клеток стриатума многочисленные мелкие клетки с короткими аксонами, не выходящими за пределы стриатума, считаются его рецепторными клетками. Все редко разбросанные в разных местах крупные эффекторные клетки направляют свои аксоны *в паллидум;* других эффекторных выходов у стриатума явно нет. Волокна, приносящие импульсы в стриатум, почти все исходят из thalamus. Связь с корой полушарий (бесспорная для паллидума) здесь не доказана.

Новейшие органы моторики в головном мозгу, возникающие и развивающиеся позднее других и в филогенезе, и в онтогенезе, — это пирамидная моторная система и надстроенные в известном смысле над ней фронтальные системы коры полушарий. В филогенезе пирамидная система появляется только у млекопитающих. У низших mammalia (грызунов) имеется вначале одно только гигантопирамидное поле 4 с гигантскими эффекторными клетками Беца в V слое, но это поле уже велико и довольно хорошо расчленено. У более моторно одаренных грызунов (белка и заяц) намечается премоторная зона 6 (М.О. Гуревич, Г.Х. Быховская). Передняя гранулярная область (поля 8 и 12) бывает только у хищных, у которых премоторные поля 6 достигают значительного развития. У собакоголовых обезьян прибавляется еще поле 9 в лобных долях, у высших обезьян — фронтальные поля 10 и 11. Наконец, у человека появляется еще полоса совсем новых полей в лобной доле (44—47 Бродмана), а зона 6 начинает резко преобладать над первичной моторной пирамидной зоной — полем 4.

Функциональная расчлененность пирамидного поля 4 у человекообразных обезьян чрезвычайно тонка, как показали опыты В.М. Бехтерева и в особенности Лейтона и Шеррингтона. В этой области имеется точнейшее отображение (как его называют, соматотопическая проекция) всей скелетной мускулатуры тела, причем смещение раздражающих электродов на доли миллиметра уже способно повести к изменению мышечной реакции подопытного животного. По образному выражению В.М. Бехтерева, при электрическом раздражении моторной зоны коры обезьян получается впечатление игры на невидимой клавиатуре. Лейтон и Шеррингтон, а позднее Грюнбаум и Лешли показали, что как между отдельными смежными возбудимыми элементами поля 4, так и между ними и элементами прилегающего спереди премоторного поля 6 существуют очень тонкие и динамические функциональные взаимоотношения, причем явления проторения (facilitation) и индукции способны делать картину соматотопической проекции крайне неясной.

Онтогенетически эти корковые системы созревают значительно позже экстрапирамидных: у человека пирамидная система и ее проводящий путь в спинной мозг обкладываются миелином только во втором полугодии внеутробной жизни, а премоторные и фронтальные системы — на втором году жизни. Эта постепенность явственно сказывается на развитии моторики ребенка, как это будет видно в 3-м разделе очерка.

Этот краткий очерк развития, строения и связей двигательных аппаратов центральной нервной системы следует сопроводить самым беглым и суммарным историческим обзором филогенетического развития их физиологических функций. Обзор придется начать с превертебрального периода.

Структурными элементами двигательных систем мягкотелых беспозвоночных (кишечнополостных, иглокожих, червей, моллюсков) являются гладкие мышечные

волокна и немиелинизированные нервные волокна, еще не обладающие четким расчленением на нейроны. Наоборот, нейрофибриллы их склонны к образованию синцитиев с диффузно разбросанными нервными клетками, лишь изредка собирающимися в ганглиозные скопления. Отправления нервно-мышечных систем подобного рода медленны и так же диффузны, как и их строение. Возбудительный процесс в значительной мере гуморален, хотя в нем начинают в возрастающей степени замечаться биоэлектрические явления. Электроотрицательность и электроположительность, катэлектротон и анэлектротон образуют два взаимно полярных явления, стойко соответствующих основной физиологической полярности возбуждения и торможения.

В моих предыдущих работах[1] я описал, как в тесной взаимной кооперации одновременно возникают и развиваются (у членистоногих и позвоночных) структурные элементы новых кинетических систем, быстрых и мощных: костный или хитиновый жесткий скелет из шарнирно сочлененных звеньев, поперечнополосатая мышца и неокинетический нейрон с миелинизированным аксоном. Этот перелом в физиологической эволюции моторики мы здесь подробно рассматривать не будем. Однако необходимо указать, что кинетические элементы старого типа не только нашли себе место и применение в организмах позвоночных — в их вегетативных нервных системах и в мускулатуре внутренностей и сосудов, но физиологический модус их работы (то, что в упомянутых работах я обозначил как палеокинетический процесс) утвердился и в неокинетических двигательных аппаратах позвоночных — в их скелетных мышцах и централизованных нервных системах — наряду с неокинетическим явлением взрывчатого возбуждения, которое сопровождается острой вспышкой биоэлектрической отрицательности — пиком действия, или "спайком", и резким сократительным вздрагиванием анизотропных дисков поперечнополосатой мышцы, склонным к слиянию в синтетические цепочки — тетанусы. Неокинетические элементы — *мотоны,* по моему обозначению, состоят из: 1) мотонейрона с нервной клеткой переднего рога и миелинизированным аксоном периферического нерва; 2) миона, или мышечной единицы, пучка мышечных волокон, связанных посредством нервно-мышечных пластинок с оконечными разветвлениями эффекторного аксона; 3) подходящих к мышечным волокнам нервных путей из симпатической системы. В этих мотонах палеокинетический процесс сумел в порядке биологического приспособления не только сохранить присущие ему формы физиологического проявления, но в известном смысле занять ведущее, регулирующее положение по отношению к тем бурным, но слепым разрядам энергии, какими являются эпизоды неокинетического возбуждения.

Физиологический электрон и его влияние на явления возбуждения и возбудимости нервно-мышечного аппарата были открыты впервые именно на поперечнополосатой мышце и снабжающем ее нерве. Таким образом, обнаружилось, что в мотоне наряду с резкими, всегда электроотрицательными вспышками — "спайками", распространяющимися с большой скоростью вдоль нервного и мышечного волокна в виде фазовой волны возбуждения, происходят медленные и гораздо более слабые по вольтажу колебания биоэлектри-

---

[1] К вопросу о природе и динамике координационной функции // Сб. тр. каф. психологии 1-го МГУ. М., 1945; О построении движений. М.: Медгиз, 1947.

ческого потенциала уже обоих знаков(+ или –),которые оказывают четкое влияние как на амплитудные и скоростные характеристики вспышек неокинетического *возбуждения,* так и на все стороны и показатели возбудимости мотона: на силовые и временные пороги (например, полезное время, хронаксия и т.п.), хронологию и размеры следовых изменений возбудимости и т.д. В этой регуляции обнаружились те пути, которыми организм располагает для преодоления сковывающих рамок закона "все или ничего". Закон этот всевластен по отношению к вспышке неокинетического возбуждения, но никак не связывает палеокинетических, электротонических регуляций, способных менять уровни возбуждения и возбудимости мотона с любой плавностью.

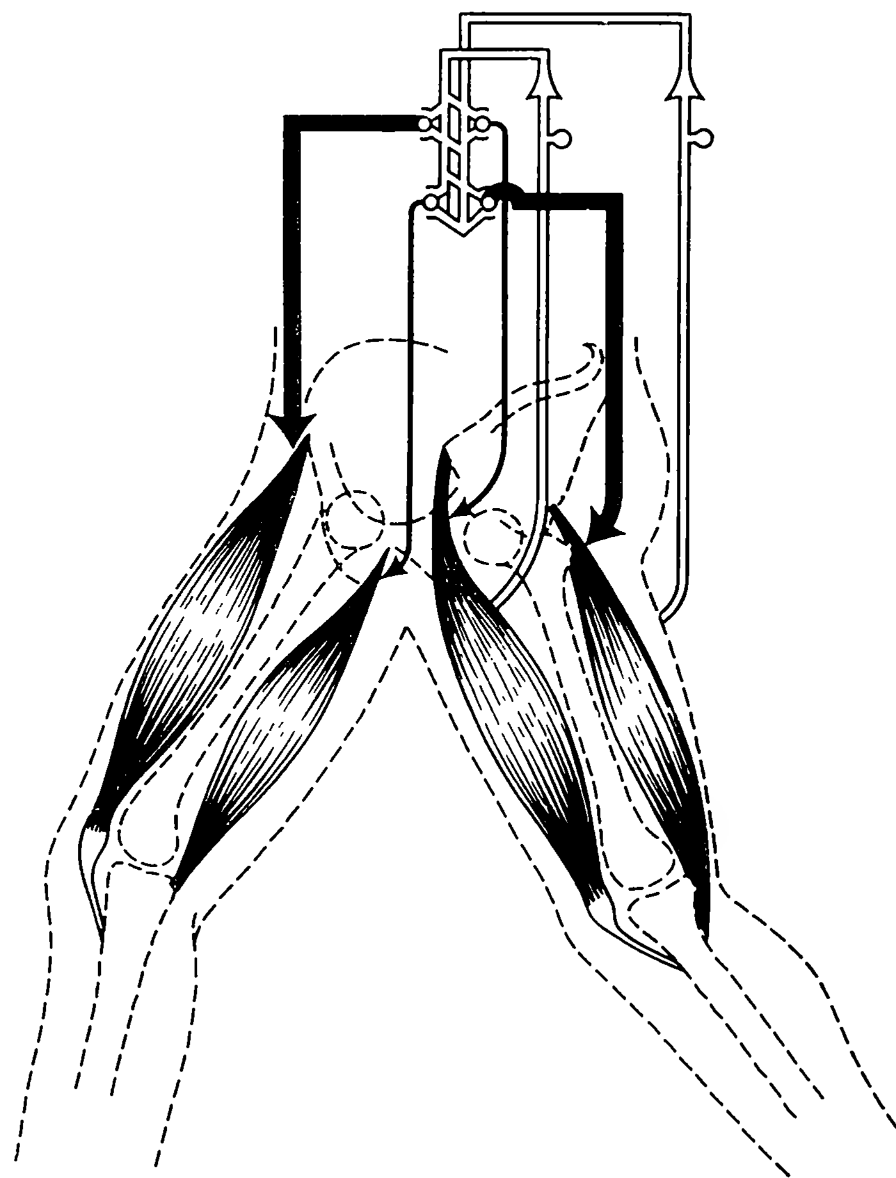
Гораздо позднее стало выясняться то, что теперь само собой разумеется. Оказалось, что палеокинетический возбудительно-тормозной процесс, господствующий в вегетативных нервных системах и гладких мышцах, перенес с собой на скелетный нервно-мышечный аппарат не только присущие ему медленные и низковольтные плюс-минусовые колебания потенциала. Он перенес и способ сокращения, свойственный гладким мышцам, такой же медленный, упруго-тягучий, со слабыми токами действия и низким уровнем энергетического обмена. Эти медлительные, дозируемые чередования напряжения и расслабления — *работа поперечнополосатой мышцы по образу и подобию гладкой* — оказались тем самым *мышечным тонусом,* который был уже давно известен физиологам и клиницистам и так упорно не поддавался строгому определению.

Оказалось, что поперечнополосатая мышца, когда через ее двигательный нерв к ней прибывают одиночные "спайки" или их цепочки, реагирует на них неокинетическими одиночными вздрагиваниями или соответственно слитными тетанусами. Если же по тому же нерву этой мышцы достигают медленные электротонические колебания того или другого знака, она откликается на них тоническими, палеокинетическими напряжениями или расслаблениями, работая как гладкая мышца. За рубежом Briscoe, а у нас А.А. Горшкову и А.А. Гусевой из лаборатории, руководимой А.А. Ухтомским, удалось искусственно воспроизвести подобие этого двойственного феномена посредством непрямого раздражения скелетной мышцы децеребрированной кошки индукционными токами, один раз более частыми и сильными, другой раз более редкими и слабыми.

Таким образом, тонус подготовляет поперечнополосатую мышцу к принятию тетанизирующих центральных импульсов двояким путем: с одной стороны, регулирует ее возбудимость и силу ответа, с другой — обеспечивает ей уже в чисто механическом плане гибкий, упругий фон.

Объединенными усилиями английских исследователей Шеррингтона и Эдриана и американских физиологов удалось установить, что описанные тонические (или, что то же самое, электротонические) воздействия на мускулатуру имеют центральное происхождение и возникают в низовых ядрах электропирамидной системы (у человека и приматов это группа красного ядра). Такие ядра уже давно были известны как важнейшие центры распределения тонуса (Magnus, de Klejn, Rademaker). Поражение их вследствие заболевания или воздействия ножа экспериментатора ведет к резким нарушениям тонуса (например, известная децеребрационная ригидность). Исследователи школы Lapicque (1926, 1935) установили и другой модус действия тех же тонических импульсов системы красного ядра: их избирательное блокирующее воздействие на клетки передних рогов посредством

Рис. 40. Схема путей импульсов перекрестно-реципрокной иннервации при ходьбе
Двигательные пути (мотонейроны) изображены черными стрелками, чувствительные (сенсонейроны) — белыми



регулирования хронаксии мышц-антагонистов, так называемой субординации. Как и следовало ожидать, локализационным центром субординации оказалось все то же красное ядро.

Система красного ядра образует самый низкий в иерархии и самый древний филогенетически координационный уровень построения движений. Мы назвали его в цитированной выше работе уровнем проприоцептивного рефлекторного кольца или же уровнем палеокинетических регуляций, подчеркивая эти его физиологические свойства. Не производя у человека каких-либо самостоятельных движений (ушедших из этого уровня кверху в порядке "энцефализации"), уровень красного ядра представляет собой своего рода "фон всех фонов" для двигательных отправлений. Он создает тоническую загрунтовку для физических сокращений мышц, регулирует их возбудимость, обеспечивает механизмы реципрокной иннервации и денервации антагонистов (установленные Sherrington), регулирует позу и хватки, управляет статокинетическими рефлексами и т.д.

На рис. 40 приведена заимствованная у Scherrington, но несколько видоизмененная и конкретизированная схема осуществления перекрестно-реципрокной иннервации в мышцах нижних конечностей (проводящие пути и импульсации красного ядра на рисунке не показаны).

Foix и Nicolesco в 20-х годах нашего века наметили три последовательные ступени развития двигательных функций в филогенезе, М.О. Гуревич (1930) добавил к ним четвертую. Эти ступени, по мнению старых авторов, связаны с вступлением в строй очередных, более новых и высокостоящих двигательных ядер, а по современным воззрениям — очередных, переслаивающих друг друга координационных уровней, включающихся в рецепторные и эффекторные структурные элементы. В остальном схема Foix и Nicolesco очень близка к нашей лестнице уровней, как это будет пояснено в дальнейшем.

Самая ранняя из вертебральных ступеней соответствует господствующему положению таламопаллидарной системы и имеется у рыб, отчасти у земноводных. Для нее характерны монотонные плавные движения, охватывающие все тело, представляющие собой что-то вроде перистальтических волн. Эти движения плавников, хвостового оперения и т.д. не прекращаются ни на минуту, даже когда рыба спокойно останавливается на одном месте.

В сумме всех движений почти 100% составляют локомоции, оформляемые

как крайне обобщенные, охватывающие все тело синергии. Движения по большей части неторопливы, округлы и ритмичны.

Вторая ступень характеризуется первенствующим положением стриатума, т.е. того, что в нашей систематизации *соответствует нижнему подуровню C1 пространственного поля.* Эта ступень начинает развиваться у сухопутных амфибий, четко представлена у пресмыкающихся и достигает кульминационной точки своего развития у птиц. Преобладание стриатума с доступными ему качествами сенсорных коррекций обеспечивает этим животным их сложные локомоции ползания, лазанья и летания, т.е. передвижения уже не "туловищного", а "конечностного" стиля. Очень высокой ступени развития достигает владение равновесием. Статика спокойной, уравновешенной позы не составляет проблемы у рыб. Здесь, напротив, вырабатывается целая система статокинетических регулирующих механизмов. Сохраняя все фоновые синергетические возможности, обеспечиваемые ушедшей вглубь таламопаллидарной системой, животные эти располагают средствами для их торможения и регуляции. Они способны и застывать неподвижно, и, наоборот, делать порывистые броски. Движения туловища, головы и шеи имеют своеобразный характер, напоминающий движения больных людей при атетозе, причем движения временами сменяются восковой статуеобразной неподвижностью, совершенно чуждой млекопитающим. Этот стиль, к слову сказать, сохраняют движения данного уровня и у человека, когда патологические условия вызывают его гиперфункцию. Наряду с осложнением и увеличением разнообразия локомоций возникает ряд движений других категорий, достигающих высокого координационного совершенства и создающих иллюзию, будто они принадлежат к уровню предметных действий (например, витье гнезд). Птице доступны многочисленные движения, никогда не бывающие у рыбы: движения туалета, смазывание перьев жиром. кормление птенцов и т.п. Здесь впервые появляются выразительные движения и звуки; ничего не выражающие крики лягушек сменяются песней, возникает и танец. Ориентировка в пространстве и точность целевых локомоторных перемещений достигают высокого совершенства, свидетельствуя о начинающемся уже (у наиболее высокоразвитых хищных птиц) развитии верхнего подуровня пространственного поля (*C2*). Истинных предметных действий, праксий из уровня *D* еще нет и следа. Пластичность и способность к построению новых двигательных комбинаций очень низка.

Третья ступень — это господство *уровня пространственного поля C* во всем его объеме, сопряженное с возникновением и развитием пирамидной системы и наступающее впервые у млекопитающих. И здесь, не теряя качественно ничего из координаций, приобретенных на предыдущих двух ступенях, животные приобретают сверх того большой и все возрастающий процент однократных, нестереотипных целевых движений нападения, охоты, скачка и т.д. Все более возрастает пластичность, способность к дрессировке, к импровизации ad hoc новых двигательных комбинаций. Резко разнообразятся движения туалета и самообслуживания. Обильными становятся образующие переход к предметным действиям игры в компании, педагогические действия и показы и т.д., которых нет у более древних классов позвоночных. Наряду с выразительными звуками и интонациями появляются мимика и экспрессивные движения. Вся совокупность движений утрачивает тот вязкий, липкий стиль, сменяемый статуеобразными застываниями тела, который везде и всегда свойствен преобладанию стриальных иннерваций.

Движения становятся эластичными, напоминают движения пружины. Покой перестает быть абсолютным, он наполняется то настороженными движениями, то привычными ритмическими покачиваниями хвоста (никогда не бывающими у пресмыкающихся), то еще иными непроизвольными двигательными жестами. Пресмыкающиеся и амфибии умеют только *двигаться*; млекпитающим свойственно то двигаться, то *шевелиться*. Постепенно у более высокостоящих млекопитающих начинают появляться истинные смысловые цепи, свидетельствующие о возникновении зачатков предметного уровня.

Намеченная М.О. Гуревичем четвертая, фронтальная ступень приобретает главенствующее положение у приматов и человека, но скачок, проделываемый ею от высшей обезьяны до человека, колоссален. В экстрапирамидных движениях человек проделал по сравнению с птицами неоспоримый шаг назад. В движениях, входящих в инвентарь уровня пространственного поля, многие млекопитающие превосходят своей моторикой человека: одни — по резвости, другие — по силе, третьи — по меткости, устойчивости, неутомимости, дальности прыжка, совершенству равновесия и т.п. Но в области предметных действий и смысловых цепей все, чем располагают даже человекообразные обезьяны, является лишь элементарным зачатком по сравнению с неисчислимыми психомоторными богатствами, освоенными человеком. В последующем изложении это положение подтвердится на ряде примеров.

Выделяемые нами уровни построения движений налагаются на вышеприведенную филогенетическую схему следующим образом:

B — таламопаллидарный уровень (1-я ступень по схеме Foix и Nicolesco), иначе уровень синергий, целиком экстрапирамидный, имеется на всех ступенях эволюции позвоночных.

C — пирамидно-стриальный уровень "пространственного поля", распадающийся, судя по всему, на два подуровня, соответствующие 2-й и 3-й ступеням схемы Foix и Nicolesco. Этот уровень включает и экстрапирамидную и пирамидную моторные системы. Наибольшего развития низший из его подуровней достигает у птиц, верхний — у высших млекопитающих.

D — уровень предметного действия, который по локализации можно обозначить как теменно-премоторный, довольно близко соответствует фронтальной ступени, введенной М.О. Гуревичем. Это чисто кортикальный уровень, пользующийся, однако, для эффекторного воздействия на периферию как пирамидной, так и экстрапирамидной системой благодаря многообразным связям и проводящим путям, которые были обрисованы выше при анатомической характеристике мозговых ядер. Этот уровень свойствен почти исключительно человеку.

3. Развитие координации в раннем онтогенезе

Обращаясь к рассмотрению развития координации в онтогенезе, укажем прежде всего, что такое рассмотрение целесообразно приурочить к трем различным планам. Во-первых, следует рассмотреть естественное развитие моторики индивида так, как оно само собой протекает в детском и отроческом возрасте. Во-вторых, в состав понятия онтогенеза движений входит и искусственная выработка двигательных координаций посредством педагогического воздействия, входит то, что обозначается терминами "двигательная тренировка" и "выработка двигательных

навыков". В-третьих, сама способность к обучению и тренировке тем или иным движениям естественно онтогенетически развивается. То, чему можно научить подростка 13—15 лет, еще недоступно 5-летнему ребенку. Наоборот, то, чему следует учить с 7 лет, уже не дает результатов, если начать обучать этому с 15- или 20-летнего возраста. Рассмотрим последовательно все три плана.

Этому рассмотрению нужно предпослать еще одно замечание. Естественный онтогенез моторики складывается из двух резко разновременных фаз. Первой фазой является *анатомическое дозревание* центрально-нервных субстратов, которое, как уже указывалось, запаздывает к моменту рождения и в отношении миелинизации проводящих путей заканчивается к 2—2,5 годам. Вторая же фаза, переходящая иногда далеко за пределы возраста полового созревания, — это фаза функционального дозревания и налаживания работы координационных уровней. В этой фазе развитие моторики не всегда идет прямо прогрессивно: в некоторые моменты и по отношению к некоторым классам движений (т.е. уровням) могут происходить временные остановки и даже регрессы, создающие сложные колебания пропорций и равновесия между координационными уровнями. Что именно соответствует анатомически этому периоду функционального дозревания, еще далеко не выяснено.

Veraguth (1921) следующим образом характеризует раннее развитие моторики грудного ребенка. Уже внутриутробные движения, наблюдаемые с VI месяца беременности, свидетельствуют об очень дифференцированной деятельности промежуточных (рефлексообразующих) систем спинного мозга. Первые движения новорожденного — дыхание и крик. Когда ребенка в первый раз прикладывают к груди, он уже способен повернуть голову, ища сосок. С этого же момента начинают действовать рефлексы сосания и поворота головы к пальцу, прикасающемуся к щеке.

У грудного ребенка в первые дни после рождения наблюдается еще ряд координированных рефлексов: например, на щекотание булавочной головкой спинки ребенка, лежащего на животе, он отвечает либо отодвиганием позвоночника в сторону от раздражения, либо резким, распрямляющим спинку сокращением длинных мышц позвоночника (m. erectoris trunci).

Для того чтобы уяснить особенности последующих проявлений моторики грудного ребенка, необходимо иметь в виду, что как кортикальные моторные системы, так и стриатум к моменту рождения еще не обложены миелином, так что вполне готовы к действию только thalamus, pallidum, а также то, что находится каудальнее них. По "потолковому" уровню новорожденного Foerster называет его "таламопаллидарным существом", которое многими чертами своего поведения и поз обнаруживает филогенетическое происхождение от обезьяноподобных предков. "Только в результате созревания стриатума первоначальная паллидарная функция — типа карабкания — оттесняется, тормозится, и от нее сохраняются благодаря механизмам избирательного торможения одни лишь целесообразные элементы. Обузданный этим путем паллидум включается уже и на службу моторики взрослого человека" (Foerster).

Попутно, если речь зашла об обуздании и торможении паллидума, надо сказать, что не раз отмечалось бесспорное сходство движений грудного ребенка с патологическими движениями так называемого атетоза (Meynert, Freud, Spatz. 1927). Это сходство, несомненно, связано с тем, что при атетозе вслед-

ствие поражения стриатума происходит "высвобождение связанных в норме фило- и онтогенетически низовых двигательных механизмов" (Economo), приводимых в действие паллидумом.

Грудной ребенок продолжает оставаться таламопаллидарным существом в течение всего первого полугодия своей жизни. В этом периоде ему присущи "массовые, недифференцированные движения автоматического и защитного характера" паллидарного происхождения (Гуревич, 1930). "В первые месяцы жизни у ребенка преобладают обхватывающие и хватательные рефлексы, как у обезьян", "примитивные двигательные реакции, которые у взрослых затормаживаются и выявляются лишь при патологических условиях: сюда относятся мезэнцефалические рефлексы Магнуса (Lage- und Bewegungsreflexe)". При этом бывают "массовые двигательные реакции, иногда с характером, напоминающим элементы лазания и обхватывания, элементарные выразительные движения [недифференцированные реакции страха (Peiper, 1932)], симптомы Бабинского и Моро, супинационное положение ног, которое лишь постепенно превращается в дорсальную и плантарную флексии, атетоидные движения и т.п." (М.О. Гуревич).

Veraguth отмечает в этом же периоде то, что он называет "Strampelbewegungen" (брыкательные движения): ротацию плеч внутрь, чередующиеся сгибания и разгибания в тазобедренном и коленном сочленениях. Эти двигательные синергии часто связаны с движениями в дистальных суставах, с хватательными движениями рук и интенсивной игрой ножных пальцев. Пути, по которым вызываются эти движения, рубро- и вестибуло-спинальные, т.е. низовые экстрапирамидные. В качестве вызывающих раздражений возможны уже раздражения проприоцептивные, обусловливаемые небольшими смещениями центров тяжести частей тела.

В раннем послеутробном периоде человека отсутствет один переломный момент, который очень характерно проявляется у млекопитающих, рождающихся слепыми. У новорожденных котят, щенят и т.п. до открытия глаз совершенно отсутствует субординационная регуляция хронаксий и тонуса: это ярко проявляется в их медленных, дрожащих телодвижениях на расползающихся в стороны лапах. Хронаксии мышц конечностей держатся в течение этого времени на чрезвычайно высоком уровне. Момент прозревания сопровождается скачкообразным включением механизмов субординации, столь же быстрым снижением мышечных хронаксий до их нормальных значений (А.А. Уфлянд) и включением в рефлекторную деятельность проприоцептивной чувствительной системы, до того неработоспособной.

Сравнительно позднее вступление в работу проприоцепторики, происходящее у ребенка, — это проявление еще одного противоречия между онто- и филогенезом, где проприоцептивная рецепторика (в некоторых ее подвидах) принадлежит к числу древнейших рецепторных качеств.

Нельзя не отметить здесь одного чрезвычайно выразительного примера, характеризующего развитие одной из простейших моторных функций в раннем онтогенезе, а именно *схватывания предмета*. В первые же недели жизни ребенок способен сгибательными движениями пальцев зажать в руке предмет, подсунутый ему в ладонь и раздраживший ее тактильные окончания. С 4—5-го месяца жизни начинаются попытки схватывать предмет, воспринятый зрительно (например, яркую игрушку, подвешенную в поле зрения). Эти попытки выглядят как очень

разлитые, иррадиированные и беспорядочные синкинезии, как нечто вроде бурных вспышек барахтания, при которых приходят в качательное, чередующееся движение все четыре конечности и в которых участвует мускулатура и лица, и шеи, и туловища. Такой приступ иррадиированного двигательного возбуждения может привести к тому, что ладонь случайно столкнется с желаемым предметом и удачно захватит его, тогда на этом все и заканчивается. Если же такого удачного исхода не последует, вспышка иссякает сама собой, чтобы через 10—20 с смениться подобным же приступом. На втором полугодии жизни сквозь подобные гиперкинетические взрывы начинают проявляться, чередуясь с ними, однократные простые целевые движения одной ручки за предметом, сперва неточные, атактические, с частыми промахами, а в дальнейшем все более и более адекватные. Суррогатные синкинетические вспышки предыдущей стадии не превращаются в эти целесообразные движения, а, чередуясь, постепенно изживаются и вытесняются ими.

Первая из описанных фаз развития движения схватывания — сжатие кулачка в ответ на тактильное раздражение — протекает, по-видимому, по типу более или менее беспримесного спинального рефлекса. Вторая, гиперкинетическая фаза — образчик типичного таламопаллидарного движения уровня *В*. Наконец, последняя фаза однократного движения одной руки — это проявление деятельности уровня пространственного поля, постепенно дозревающего к этому времени анатомически. Таким образом, рассмотренный нами пример отчетливо показывает, как двигательный процесс определенного смыслового назначения поднимается в раннем онтогенезе снизу вверх по уровням построения, по мере их анатомического созревания, вплоть до того уровня, на котором этот процесс будет происходить и у взрослого индивидуума.

Схватывание видимого предмета 5—6-месячным ребенком продолжает совершаться с описанными иррадиациями и гиперкинезами и тогда, когда движение вкладывания в рот предмета, находящегося в руке, выполняется уже вполне координированным, простым и однократным флексорным движением. По-видимому, это объясняется тем, что движение руки *ко рту* с предметом или без него соответствует по направлению естественному влечению ребенка, в то время как для схватывания и присвоения *себе* предмета, подвешенного в поле зрения, необходимо сделать противоречащее примитивному влечению экстензорное движение *от себя,* что значительно труднее и удается позже.

П.П. Блонский в книге "Психологические очерки" (изд-во "Новая Москва", 1927) приводит переработанную им метрическую шкалу Kuhlmann, характеризующую нормальный ход моторного развития ребенка. Шкала эта в части, относящейся к самым ранним возрастам, несомненно, близка к действительности и, кроме того, представляет интерес потому, что очень наглядно показывает, как постепенно повышаются координационные уровни психомоторных приобретений ребенка. Приводим здесь первую часть этой шкалы, сопровождая ее разметкой уровневой принадлежности указанных в ней движений и действий (табл. 2).

5—6 месяцев послеутробной жизни — очень важный переломный момент в моторике грудного ребенка. В это время (более или менее одновременно) заканчивается анатомическое созревание двух важнейших систем — обкладываются миелином и вступают в работу: 1) группа красного ядра с подходящими к этому ядру путями, обеспечивающая функцию низового уровня *А* палеокинетических

Таблица 2

Моторное развитие ребенка (по П.П. Блонскому)

Возраст	Движение или действие	Уровни				
		A	*B*	*C1*	*C2*	*D*
3 месяца	Направление руки или предмета в рот	+	+			
	Реакция на внезапный звук (рефлекс) (?)					
	Бинокулярная координация	+				
	Обращение глаз к предмету в боковом поле зрения	+				
	Моргание при предмете, угрожающем глазу	+				
6 месяцев	Держание головы	+				
	Сидит прямо	—	—	+		
	Поворачивание головы к источнику звука	+	—	+		
	Оппозиция большого пальца при схватывании	+	+			
	Удержание предмета, положенного в руку	+				
	Тянется к видимым предметам	—	+	+		
1 год	Сидит и стоит	—	—	+		
	Речь (подражание: мама, дя и т.п.)	—	—	+	—	+
	Подражание движениям	—	—	—	+	
	Марание карандашом (подражание)	—	—	—	+	
	Узнавание предметов (предпочтение)	—	—	—	+	
1,5 года	Пьет из стакана (несколько глотков)	—	—	—	—	+
	Ест ложкой или вилкой	—	—	—	—	+
	Речь (папа, мама, да, не)	—	—	—	—	+
	Выплевывание твердого, попавшего в рот (?)					
2 года	Показывание предметов на картинках	—	—	—	+	
	Подражание простым действиям (хлопанье в ладоши)	—	—	—	+	+
	Грубое копирование круга	—	—	—	+	+
	Удаление обертки с предмета, прежде чем съесть его	—	—	—	—	+
	Послушание простым приказаниям (?)					

Примечание. Знак вопроса указывает, что соответствующее движение или действие неясно, вследствие чего и не отнесено к уровням.

регуляций, и 2) стриатум (и его эфферентные пути к паллидуму), являющийся субстратом нижнего подуровня пространственного поля *C1*.

Подведем итог главным функциональным приобретениям, которые обусловливаются этим морфологическим обогащением. В отношении *статики* к началу второго полугодия жизни ребенок обретает позу. До этого времени туловище его лежало на спине, тяжелое и неподвижное, а присоединенные к нему короткие и слабые конечности совершали лишь всевозможные брыкательные движения бесцельно, без полезной нагрузки и не было ничего, что объединяло бы их движения между собой. Стриатум (и содружественно с ним дозревающая система красного ядра) дает возможность принять позу — *сидеть, садиться, ложиться,* поворачиваться на живот, а несколько позднее *стоять* и *вставать.* При вставании используется вначале довольно сложный механизм того, что Schaltenbrand называет четвероногим синдромом (quadrupedales Syndrom): поворачивание со спины на живот, вставание на четвереньки, выпрямление колен, все еще на четвереньках, наконец, вставание на ноги (см. табл. 2). Более взрослые обычно встают со спины, просто сгибая тазобедренные суставы и поднимая туловище.

Грудному ребенку этот прием недоступен из-за слишком большой относительной легкости его ног.

Это обретение активной, целесообразной позы, конечно, целиком опирается на правильную рефлекторную *тонизацию* всей шейно-туловищной мускулатуры, т.е. в конечном счете на правильное функционирование проприоцептивного рефлекторного кольца. Известную роль играет, несомненно, и прогрессивное анатомическое развитие скелета и мышц конечностей.

В *динамике* можно определить наступающие в это время изменения — переход от *синкинезий к синергиям.* Синкинезии — это одновременные движения, лишенные смысловой связи и у взрослого всегда патологические; синергии — это содружественные движения или их компоненты, направленные к совместному разрешению определенной двигательной задачи. В первом полугодии уже само положение ребенка не позволяло ему ничего, кроме разрозненных, бесцельных движений конечностей. Позднее туловище из мертвого груза становится органом подвижной опоры движения, и конечности начинают работать с нагрузкой как упоры (см. выше "четвероногий синдром"). Хотя определение новорожденного как "таламопаллидарного существа" (Foerster) в общем верно и таламопаллидарный уровень у него дееспособен к моменту рождения, но пригодных на что-либо синергий от паллидума (хотя и монополиста по синергиям) в этом первом периоде жизни получается мало. Дело в том, что до созревания группы красного ядра этот уровень имеет в своем распоряжении лишь скудные и непрямые выходы к клеткам передних рогов.

Вступающий в работу вместе с нижним подуровнем пространственного поля рубро-спинальный уровень тонических регуляций дает возможность правильно функционировать вестибулярным аппаратам уха — отолитовым и лабиринтным. Это позволяет ребенку поддерживать динамическое равновесие при сидении, вставании и поворотах, в свою очередь, регулирует его мышечный тонус и приводит к зачаткам активного, синтетического познавания ребенком сначала пространственных очертаний собственного тела (Körperschema), а затем и окружающего пространственного поля.

Наконец, в это же переломное время намечается прогресс и в области звуков. Язык и голосовой аппарат — это инструмент, на котором в онтогенезе по очереди упражняются все координационные уровни. Таламопаллидарный уровень синергий, с которым ребенок родится на свет, в состоянии извлечь из него одни лишь невыразительные звуки: бурчание, гуление с лишенным смыслового значения звуком "агу" и т.д. В этом возрасте ребенок не умеет плакать, а может только кричать. Мимики точно так же совершенно нет, если не считать гримас — синкинезий, производимых свободной игрой мышц и ничего не выражающих.

Стриатум вызывает две важнейшие звукоиздавательные и мимические синергии — *смех* и *плач.* Появляется выразительная мимика, отражающая элементарные эмоции удовольствия, страдания, испуга, интереса, гнева[1]. Последующее вклю-

---

[1] Интересна параллель с филогенезом, обнаруживающая и в этой области отсутствие точного параллелизма. У птиц (потолочный моториум—стриатум) нет мимики и маловыразительных звуков. У млекопитающих, у которых сформировалась пирамидная система, появляется то и другое, но, как у человека, за счет экстрапирамидной системы. Похоже, что для реализации мимики необходимо, чтобы осуществляющий ее уровень не был потолочным у данного животного (сравнить, например, паллидарное пение птиц).

чение пирамидного, верхнего, подуровня пространственного поля дает (забегаем несколько вперед) все еще нечленораздельные, но уже целевые звуки, отражающие требования. Наконец, созревание премоторных полей и системы уровня предметного действия даст возможность на втором году жизни произносить первые осмысленные слова: мама, дай и т.д.[1]

Все второе полугодие жизни протекает при постепенном функциональном дозревании уровня пространственного поля с уже начавшим работать нижним стриальным подуровнем и с постепенным внедрением пирамидных механизмов верхнего подуровня, которые вытесняют старые паллидарные суррогаты. С точки зрения моторики второе полугодие является *прелокомоторным периодом;* это подготовка к ходьбе и к бегу, причем в качестве суррогата широко используется ползание. Для того чтобы пояснить сущность этой подготовки к локомоциям, необходимо указать, что законченная иннервационная структура ходьбы и бега включает содружественную работу всех координационных уровней построения. От рубро-спинального уровня (в кооперации с мозжечком) идут механизмы: 1) динамического распределения тонуса; 2) реципрокной иннервации, прямой и перекрестной и 3) вестибулярной регулировки равновесия. Таламопаллидарный уровень обеспечивает основую, громадную синергию ходьбы, включающую в ритмизированной последовательности почти все 100% скелетной мускулатуры тела. Стриальный подуровень приспособляет обобщенную, еще не отнесенную к внешнему реальному пространству паллидарную синергию к фактическим условиям ходьбы: к фактуре и неровностям почвы, ступенькам, наклонам, канавкам и т.п. Наконец, верхний пирамидный подуровень пространственного поля наслаивает на этот уже вполне реальный и целесообразный акт передвижения то, что придает ему непосредственно целевой характер, т.е. определенные задания: пройти туда-то, по дороге обернуться и взять то-то, бросить с разбега мяч или гранату и т.п.

Опираясь на это расчленение, легче ориентироваться в той интенсивной подготовительной работе, которая совершается в прелокомоторном втором полугодии в двигательной сфере ребенка.

Еще до окончательного вытеснения кажущихся нам бесцельными брыкательных движений (Strampelbewegung) у ребенка развиваются столь важные для локомоции основные движения, участвующие в сидении и стоянии. Эти движения связаны с работой стабилизаторов для равновесия всего тела. В этом периоде тело приучается удерживать и нести всю свою массу над минимальными поверхностями опоры. Для интеграции этих уравновешивающих движений необходимы процессы, выполняемые экстрапирамидной системой, особенно вследствие передаваемых ею импульсов вестибуло-мозжечковой системы (Veraguth, 1921).

В этом, самом раннем, периоде освоения ходьбы ребенок сталкивается с рядом добавочных, чисто антропометрических затруднений, исчезающих в более позднем возрасте. Нижние конечности его, в частности тазобедренная мускулатура, очень слабы. Сами ноги коротки и вдобавок полусогнуты вследствие незакончившегося

---

[1] Kleist (1911) указывает на возможное локализационное разделение статических и динамических функций в экстрапирамидной системе: статика осуществляется внутренним ядром паллидума и скорлупой (putamen) стриатума, динамика — наружным ядром паллидума и хвостатым ядром (nucleus caudatus) стриатума.

формирования поясничного лордоза. Поэтому общий центр тяжести тела, оттягиваемый кверху относительно очень тяжелыми туловищем и головой, располагается, даже в абсолютных цифрах, более высоко над тазобедренной осью, чем у взрослого. Это создает очень большую тяжесть верхней части тела по отношению к тазобедренной оси и при слабой мускулатуре вызывает беспрестанные подгибания ножек вследствие отклонения тела тазом назад. Недаром годовалый ребенок так часто падает на ягодицы. Относительно меньшие, чем у взрослого, опорные площадки подошв также создают добавочные трудности. Все наблюдения за осваивающим ходьбу ребенком доказывают, что он испытывает в основном два затруднения: поддержание равновесия и борьбу с тяжестью верхней части тела по отношению к тазобедренной оси.

Далее для локомоции необходима как предпосылка известная надежность работы промежуточных систем: тонкая балансирующая игра мышц стопы при стоянии, шагательная перекрестная синергия (stepping) и т.д. — все то, что можно было бы объединить под названием рубро-спинальных (у кошки и собаки чисто спинальных) автоматизмов. Дальше следуют высокодифференцированные регуляции мозжечка, также транслируемые через красное ядро: борьба с силой тяжести, умение целесообразно перемещать общий центр тяжести тела, установка и движения туловища и рук в гармонии с движениями ног и т.д. Все перечисленные приобретения указывают на достигаемый к этому времени высокий уровень регуляций с мозжечка и красного ядра.

Амплитуды и темп локомоторных движений, как утверждает не раз уже цитировавшийся Veraguth, в самом основном обусловливаются экстрапирамидными ядрами, импульсы которых передаются через красное ядро и рубро-спинальный пучок. От этих же центров исходит и выразительная слагающая локомоторных движений, их аффективно обусловленная нюансировка, исходит все то, что исчезает после перенесенного летаргического энцефалита.

Настоящая двуногая локомоция развивается к началу второго года жизни. "До этого времени, помимо недоразвития нервных аппаратов, мускульная система нижних конечностей и даже их вес сравнительно с весом всего тела слишком недостаточны для поддержания статики. В возрасте 1—2 лет отмечается неуклюжесть и неустойчивость движений, зависящие от недостаточной дифференцировки и отсутствия необходимой регуляции тонуса. У детей этого возраста налаживаются выразительные и защитные движения и начинают появляться обиходные движения. Таким образом, стриальные функции в их статических и кинетических проявлениях достигают значительного развития, пирамидные же функции развиты еще очень слабо, движения крайне неточны, наблюдается масса синкинезий. Положение тела характеризуется наличием некоторого лордоза" (М.О. Гуревич).

Локомоция ребенка 2-го года жизни — это не ходьба и не бег, а нечто еще не определившееся и не дифференцированное (Попова, 1940). Дивергенция бега от ходьбы начинается не ранее чем на 3-м году жизни. Сложной биодинамической структуры ходьбы, свойственной взрослому, еще совершенно нет у начинающего ходить ребенка. Вместо обширной гармонической системы импульсов, заполняющих в неизменном порядке и конфигурации силовые кривые звеньев ноги взрослого на протяжении одного двойного шага, у 12—18-месячного ребенка имеются только два взаимообратных (реципрокных) импульса (один прямого, другой попятного направления), совпадающих с тем, что наблюдается, например, при

шагательном рефлексе (stepping) у децеребрированной кошки. Эта стадия так называемого *иннервационного примитива* длится около года, т.е. примерно до начала 3-го года жизни.

Полный комплект динамических волн ходьбы накопляется очень медленно, заполняясь только к 5 годам. Весьма постепенно отдельные элементы силовых кривых переходят из группы непостоянных элементов, встречающихся не при каждом шаге и имеющих тенденцию пропадать при увеличении темпа ходьбы, в категорию элементов, постоянно появляющихся при медленных темпах, и, наконец, в группу безусловно постоянных. Таким образом, постепенное появление и закрепление новых структурных элементов не находится ни в какой связи с выработкой элементарной координации и равновесия при ходьбе; в 3—4 года ребенок не только уже давно безукоризненно ходит, но и бегает, прыгает на одной ноге, катается на скутере или трехколесном велосипеде и т.п. Это значит, что механизмы координирования всевозможных видов локомоций и поддержания равновесия выработаны к этому времени давно и прочно. Те структурные элементы, о которых идет речь, имеют, очевидно, иное значение и связаны с более тонкими деталями двигательной координации. С точки зрения нервной структуры ходьбы характеризуемые динамические элементы отражают сложную синергетическую работу таламопаллидарного уровня. Как видно из изложенного, их выработка запаздывает на целые годы по сравнению с анатомическим созреванием не только паллидума, но и стриатума и пирамидной системы.

Дальнейшие циклограмметрические наблюдения Т.С. Поповой (данные о биодинамической эволюции ходьбы и бега, заимствованные из очень содержательных ее работ) показывают, что развитие динамической структуры ходьбы протекает в онтогенезе отнюдь не по кратчайшему пути. В период примерно между 5 и 8 годами имеется иногда огромное перепроизводство динамических волн в силовых кривых ноги при полнейшей бесформенности этих кривых. После 8 лет эти "детские" элементы один за другим проходят обратное развитие, а кривые понемногу приобретают те характеристические формы, которые присущи им у взрослого человека. Очень правдоподобно, что этот переизбыток волн в каком-то отношении сродни паллидарным гиперкинезам, хотя и проявляется в несколько ином плане. Инволюция этих лишних волн, сопряженная с превращением кривых из бесформенных зубчаток в типические конфигурации, является результатом того избирательного, оформляющего торможения со стороны стриатума, по поводу которого мы уже цитировали выше мнение Foerster. Как было показано нами в другой работе (Исследования по биодинамике ходьбы, бега, прыжка. М.: ЦНИИФК, 1940), упрощение форм силовых кривых и ликвидация "детских" избыточных элементов в них обусловливаются в биодинамическом отношении переходом к более совершенным способам борьбы с реактивными силами, которые возникают при движении в многозвенных системах конечностей и сбивают его с правильной траектории. Более чем вероятно, что такой переход к более экономичному и тонкому способу координирования связан с вступлением в работу более высоко организованного центрально-нервного анатомического субстрата и более дифференцированного функционального уровня.

Еще одно крайне характерное явление, связанное с эволюцией детской ходьбы, которое наблюдала Т.С. Попова, заслуживает краткого упоминания. В силовых кривых ходьбы детей от 1,5 до 3 лет имеется дзета-волна, величина которой

тесно и отчетливо связана с длиной шага. Эта волна является совершенно явным коррекционным импульсом, направленным к выравниванию длины последовательных шагов. В более позднем детстве эта закономерная компенсационная изменчивость дзета-волны совершенно исчезает, нет ее и в кривых ходьбы взрослого. Между тем стойко постоянная длина шага выдерживается и у старших детей и у взрослых гораздо стабильнее, чем у детей 2—3 лет, о которых здесь идет речь. Более точные количественные наблюдения показали, что у старших детей длина шага определяется основным прямым силовым импульсом эпсилон (предшествующим дзете) прелиминарно, заранее. Маленький ребенок еще не способен к подобному предвосхищающему планированию своих импульсов, но уже способен к внесению в них вторичных метрических коррективов типа детской дзеты. Этого, в свою очередь, еще не в состоянии сделать годовалый ребенок, у которого и высота дзеты лишена какой-либо закономерности, и длина шага очень резко вариативна[1].

На рис. 41 (*см. рис. 82 в кн. 1. — Примеч. ред.*) приведены последовательные положения ноги в переносном периоде ходьбы взрослого человека с интервалами между отдельными позами $^1/_{90}$ с. На рисунке хорошо видна окончательная силовая структура переноса ноги после сформирования всех импульсов.

Биодинамическая дивергенция *бега от ходьбы* начинается не ранее 3-го года жизни с организации *полетного интервала,* которого вначале совершенно нет. Заслуживает внимание то, что беговая перестройка становится заметной в кривых вертикальной слагающей раньше, чем в кривых продольной. Нами было отмечено, что вертикальная динамика ходьбы и бега тесно связана с интегральной динамикой всего тела и отражает в основном его борьбу с силой тяжести, тогда как продольная динамика конечностей отражает по преимуществу иннервационную структуру движения самих конечностей. Таким образом, тот факт, что перестройка первоначально происходит в вертикальной и лишь значительно позднее в продольной слагающей, свидетельствует о том, что перестройка эта вызывается внешними, биомеханическими причинами, тогда как иннервационные перестройки возникают, по-видимому, вторично, в порядке отклика на требования биомеханической периферии. Центральная дивергенция является уже следствием периферической.

Попутно с упомянутыми более или менее тонкими иннервационными изменениями происходит и результативное, биодинамическое усовершенствование дет-

---

[1] В последние годы внимание все возрастающего числа исследователей как движений, управляемых скелетной мускулатурой, так и движений глаз привлекают движения, заслуживающие названия полубаллистических. Движения этого класса, которые встречаются гораздо чаще, чем можно было предполагать, отличаются от истинных баллистических тем, что в последних вслед за однажды данным динамическим импульсом уже теряется всякая возможность управления движением целевого объекта или его корригирования (удар по мячу, биллиардному шару, выстрел из лука и т.п.).

В движениях же, которые я назвал полубаллистическими, контакт с объектом или орудием не прерывается после основного импульса, но уже не заходит дальше мелких коррективов, и все основные координационные задачи уже с самого начала (прелиминарно) вкладываются в основной импульс. Кроме приведенного здесь в тексте примера с движением ноги при ходьбе, можно было бы назвать в качестве представителей класса полубаллистических движений удар молотком, фортепианный отрывистый удар ("стаккато"), прослеживание взором или рукой за внезапно появляющимся быстро движущимся объектом, движение быстрого переноса конечности по сигналу и др.

ского бега. Длина шага неуклонно растет: на 5-м году она удваивается, на 8-м утраивается, к 10 годам в спринте становится почти в 4,5 раза больше по сравнению с длиной шага ребенка, едва начинающего бегать. Разумеется, длина ног не увеличивается в такой же прогрессии, так что в основном увеличение длины шага обусловливается возрастанием угловых амплитуд движений в ножных суставах, а также увеличением длины полета. Средняя скорость бега также неуклонно растет: в возрасте 3—4 лет она удваивается, к 6 годам становится втрое больше, а к 10 годам — впятеро больше. К этому возрасту скорость бега достигает 5,75 м в секунду (около 20,7 км/ч) и становится вчетверо больше скорости ходьбы.

Следующая возрастная ступень после первичной выработки локомоций, относящаяся к окончанию 2-го и ко всему 3-му году жизни, является периодом анатомического завершения созревания всех высших моторных систем ребенка. В этом периоде у ребенка появляются и начинают резко возрастать как по количеству, так и по степени успешности выполнения движения уровня предметных действий. К этой группе двигательных актов относятся по преимуществу действия двух категорий: собственно предметные, т.е. манипуляции с вещами, и речевые. Что касается предметных действий в прямом смысле, то ребенок обучается ряду актов самообслуживания, умело обращается с игрушками, воздвигает постройки из кирпичиков, лепит песочные пироги, начинает рисовать карандашом. Овладевать речью ребенок начинает, как правило, в третьем полугодии жизни. Речь и ее развитие составляют, однако, столь обширную и самостоятельную проблему и ей посвящена столь обильная литература, что мы не будем затрагивать ее в настоящем очерке.

Что касается общего стиля моторики подрастающего ребенка, то, как справедливо отмечает М.О. Гуревич, в противоположность увальням-двухлеткам "дети 3—7 лет отличаются подвижностью и грациозностью, у них хорошо развита способность к передвижениям и выразительным движениям. Однако двигательное богатство детей этого возраста бывает лишь при свободных движениях и совершается за счет точности. Стоит заставить ребенка производить точные движения, как он сразу начинает утомляться и стремится убежать к играм, где движения свободны. Неспособность к точности зависит от недоразвития корковых механизмов и от недостатка выработки формул движения. Таким образом, в этом возрасте преобладает выразительная, изобразительная и обиходная моторика. Кажущаяся двигательная неутомимость ребенка связана с тем обстоятельством, что он не производит продуктивных рабочих движений, требующих точности и преодоления сопротивления, а следовательно, и большей затраты энергии. При обиходных, а тем более при выразительных и изобразительных движениях, почти не связанных с сопротивлением, движения совершаются естественно, т.е. начинаются, проходят и заканчиваются соответственно физиологическим и механическим свойствам двигательного аппарата в соответствующем темпе и ритме, с плавными, мягкими переходами от сокращения отдельных мускульных групп к их расслаблениям и обратно. Отсюда грациозность детских движений. В частности, темп, ритм, иннервация и денервация движения и другие стриальные функции уже хорошо развиты в этом возрасте; начинают развиваться и корковые механизмы, уменьшается количество синкинезий, но сила движений довольно мала" (М.О. Гуревич).

О развитии детской моторики в последующем периоде имеется значительно меньше точных наблюдений, поэтому мы коснемся данного периода вкратце, обрисуем лишь в немногих словах: 1) развитие графики и 2) общую типовую картину функциональных сдвигов в пропорциях и соотношениях координационных уровней.

Акт письма (скорописи) в его сформированном виде отличается еще большей сложностью координационного построения, чем локомоции: недаром и его расстройства при очаговых поражениях мозга так разнообразны. Уровень палеокинетических регуляций (уровень красного ядра) создает, во-первых, общий тонический фон пишущей конечности и, разумеется, всей рабочей позы, во-вторых, основную вибрационную, колеблющуюся иннервацию мышц предплечья (пронаторов и супинаторов, а также флексоров и экстензоров запястья и пальцев). Эта вибрация, как и все вибрации, создаваемые этим уровнем, монотонна, безукоризненно ритмична и протекает по почти чистой синусоиде — элементарнейшей изо всех кривых колебательного процесса[1]. Уровень синергий обеспечивает плавную округлость движения и его *временной узор;* округлость эта получается посредством создания очень тонкой, но прочной синергии всей мускулатуры предплечья и кисти, дающей неощутимо постепенные переливы напряжений из одних мышц в другие. Эту группу координационных свойств, обеспечиваемых таламопаллидарным уровнем, можно с удобством наблюдать, пользуясь тем, что навыки и двигательные фоны, протекающие на уровне синергий, совершенно не поддаются переключению на другие конечности или даже на другие пункты той же самой конечности. Все же двигательные компоненты, реализуемые стриальным подуровнем и кортикальными уровнями, наоборот, с большой легкостью допускают подобное переключение: тут проявляется то, что получило в нервной физиологии наименование "пластичности нервной системы". Поэтому, наблюдая процесс письма и изменения почерка при писании (без предварительной тренировки) левой рукой, кончиком ноги или подбородком и т.п., мы с полной ясностью можем расчленить, что именно имеется в акте письма от таламопаллидарного уровня и что от уровней вышестоящих. Как правило, вся общая физиономия почерка сохраняется при таких переключениях полностью, но округлая плавность движений и буквенных очертаний, составляющая характерную черту скорописи и являющаяся ее непосредственной причиной, целиком исчезает и заменяется затрудненной медлительностью движений и угловатостью буквенных очертаний, напоминающих письмо младших школьников.

Стриальный подуровень *C1* вносит в акт письма те же элементы процессуального приспособления к пространству, которые mutatis mutandis составляют долю участия этого уровня в ходьбе: осуществление движения кончика пера или карандаша по поверхности бумаги, вдоль линеек (действительных или воображаемых), квалифицированную хватку и держание орудия письма и т.д. Участие верхнего подуровня пространственного поля — его пирамидного агрегата *C2* — определяется труднее. На его долю достается (насколько можно в настоящее время судить об этом на основании наблюдений над

[1] Постепенное трансверсальное поступательное перемещение предплечья и кисти обращает эти синусоиды в циклоиды с теми или иными параметрами.

пирамидными выпадениями в клинике) осуществление геометрической части письма — выполнение очертаний букв и соблюдение существенной особенности почерка, т.е. геометрического соответствия выписываемых букв некоторым общим стандартам данного индивида, которые повторяются им одинаково при всех маштабах письма и при разнообразнейших рабочих позах (например, когда он, сидя, водит пером по бумаге или, стоя, мелом по доске и т.п.). Эти характерные свойства почерка сохраняются, как уже упоминалось, при переключении на любую другую конечность.

Еще одна техническая подробность акта письма, которая обычно ускользает от внимания наблюдателя, но имеет первостепенное значение, осуществляется, судя по всему, обоими подуровнями пространственного поля. То сложное движение по плоскости, след которого закрепляется на бумаге и является требуемым результатом акта письма, должно представлять *траекторию кончика пера или карандаша*. Для того чтобы эта точка, отстоящая на несколько сантиметров от кончиков пальцев, могла проделать требуемое движение во всех подробностях с точностью, исчисляемой десятыми долями миллиметра, как при письме, так и при рисовании, другие пункты сложной кинематической цепи руки, держащей перо, должны выписывать в пространстве совсем иные и не менее точные траектории. Как показывают точные циклограмметические наблюдения движений письма и их анализ, даже ближайшие к острию пера кончики пальцев совершают движения, следы которых не плоскостны и сильно отличаются по конфигурации от следа пера, т.е. от написанного. Еще более далеки от этой конфигурации траектории, например, пястно-фаланговых сочленений кисти: в этих траекториях уже совершенно невозможно угадать написанный текст.

Таким образом, *ни одна точка живой конечности* не выписывает в пространстве *ни одной буквы*, а только резко, хотя и закономерно, искаженные их видоизменения (анаморфозы). При этом исследуемый не имеет, как правило, никакого осознанного представления о том, как выглядят выводимые его пальцами изуродованные производные от буквенных знаков. Вот эту-то перешифровку выполняет в норме координационный уровень пространственного поля, и (мы забегаем здесь вперед) усвоение ее как автоматизированного навыка представляет собой одну из наибольших трудностей при изучении ребенком письма.

Наконец, уровень действий, анатомические субстраты которого в коре большого мозга включают известные клиницистам "центры письма" (вызывающие при поражениях синдромы аграфии), осуществляет уже смысловую сторону письма. Для него буквы — не геометрические конфигурации, а смысловые схемы, ассоциированные и с их звуковыми алфавитными образами, и с начертательными образами слов. Если уподобить работу двух низовых уровней *A* и *B* (рубро-спинального и таламопаллидарного) работе основного генератора радиостанции, испускающего монотонную "несущую частоту" электромагнитных колебаний, то работа уровня действий *D* окажется очень похожей на то, что делают с этими монотонными колебаниями токи из радиовещательной студии. Это токи *модулируют колебания* соответственно сложной и аритмической смысловой связи речи диктора, музыкальной передачи и т.д. Именно таким порядком смысловой уровень *D* модулирует плавные, однообразные тонически-синергические качания кисти и пальцев, меняет то тут, то там их амплитуды и очертания и вяжет

из них буквы и слова. Нет никакого сомнения в существовании и влиянии на акт письма кортикальных уровней, еще более высоких, чем *D*, и обозначаемых нами в их совокупности буквой *E*. Их существование обнаруживается и доказывается разнообразием форм патологических нарушений смысловой части письма (выпадений, персевераций, параграфий и т.д.) при различным образом локализованных поражениях головного мозга. Мы не будем касаться их здесь, так как, поднимаясь постепенно по лестнице уровней, мы неощутимо попадаем с ними в область психологии. Представление о психомоторной структуре письма, получаемое из предыдущего изложения, сможет помочь нам проследить в кратких чертах развитие письма у ребенка и извлечь из характеристики этого развития некоторые обобщающие указания[1].

Прежде всего нужно отметить существенное отличие между обрисованным выше развитием акта схватывания предмета и процессом освоения письма. Потребность в схватывании возникает с первых же недель жизни ребенка, когда анатомическое развитие завершено только для субстратов самых низших уровней. Поэтому акт схватывания вначале осуществляется суррогатно, с помощью наличных координационных ресурсов, а в дальнейшем неукоснительно передвигается *снизу вверх* по уровням, по мере их поочередного дозревания, пока, наконец, не доходит до того наиболее адекватного этому движению уровня, на котором ему суждено остаться на всю жизнь. С письмом происходит иное. Обучение этому навыку начинается тогда, когда формирование уровней в основном закончено, и потому протекает по своей принципиальной схеме так же, как и процессы освоения навыков у взрослого. У ребенка здесь преимущество перед взрослым в том, что его центральная нервная система еще значительно более пластична и гибка. Наоборот, преимущество взрослого при обучении новому навыку в том, что у него более богатые, приобретенные им за предшествующую жизнь "фонды" энграмм, т.е. вспомогательных, технических, фоновых приемов или сноровок, которые он может применять и при новых встретившихся ему обстоятельствах.

По типической схеме, которая будет более подробно рассмотрена в 4-м разделе очерка, осуществление акта письма у новичка начинается *с верхнего*, ведущего уровня этого акта, во всяком случае (оставляем под вопросом роль психологических уровней *E*), с наивысшего из уровней, связанных с чисто двигательной, координационной стороной процесса письма, а именно с предметного уровня *D*.

Ребенок, знающий буквы и осваивающий грамоту, изображает буквы карандашом ("пишет по-печатному") в виде их основных схем, с очень грубой пространственной, геометрической координацией. Здесь интересны два обстоятельства, вскрывающие некоторые подробности возникновения координационной структуры письма.

Во-первых, ребенок еще не грамотный, но уже интересующийся книгой и буквой, если он вообще сколько-нибудь владеет карандашом, охотно *срисовывает буквы* из книги или азбуки, причем копирует их со всеми замечаемыми им подробностями типографского шрифта — черточками, выступами и т.д. Когда же наступает более поздняя фаза попыток смыслового письма печатными буквами, все эти

[1] См. также мою статью "Кое-что о письме и почерке" (Наука и жизнь. 1964. N 7), где приведен ряд иллюстрационных примеров. О психологии освоения и нарушений письма см. в работах Е.В. Гурьянова (1940) и А.Р. Лурии (1948).

черточки и завитки куда-то исчезают и получается поверхностное впечатление, что графика ребенка стала небрежнее. Это неверно. Он просто уходит от геометрического образа буквы, которую он срисовывал как узор на уровне пространственного поля, и переключается на смысловую схему буквенного знака из уровня действия *D*, для которой эти украшения уже не имеют значения.

Вторая интересная деталь — это обилие в описываемой фазе письма печатными буквами букв зеркально перевернутых, у которых слева оказывается то, что должно быть справа, и наоборот. Изредка случается, что ребенок вдруг целое слово напишет справа налево, по-видимому, сам того не замечая. Для объяснения этого факта, тесно связанного с проблемой право- и леворукости, необходимо указать на обстоятельство, ускользавшее от внимания старой психофизиологии: отличие правой руки от левой, разграничение *правой и левой стороны* и т.п. присущи отнюдь не всем двигательным уровням снизу доверху, а начинаются *только* в уровне *предметных действий D*, тогда как во всех движениях нижележащих уровней обе руки еще совершенно равноценны. Во второй половине отрочества и в юности под влиянием резкого преобладания предметных действий в общей пропорции совершаемых движений уже вторичным порядком начинается преимущественное развитие правой руки (у природных левшей — наоборот). Тогда большая сила ее, ловкость и т.д. неминуемо сказываются на успешности движений любого уровня (например, на дальности броска или на силе сжатия динамометра). Впрочем, выносливость к статической нагрузке (уровень *A*) остается в большинстве случаев на всю жизнь более значительной в левых конечностях, чем в правых (В. Фарфель).

У маленького ребенка еще совершенно не проявляются различия между правой и левой стороной тела ни в силе мышц, ни в координационной ловкости. Эти различия становятся ощутимыми у него только впоследствии, по мере возрастания в его моторном обиходе количества движений из предметного уровня. Разногласия различных авторов (Baldwin, Dix, Stier, Braune и др.) по вопросу о возрасте, когда эти различия обнаруживаются у подрастающего ребенка (одни определяют этот возраст в 2 года, другие — в 14 лет), объясняются, несомненно, тем, какие именно движения наблюдал тот или другой автор. Чем больше исследователь обращал внимание на предметные действия, тем раньше должен был он констатировать наступление право-левой неравноценности.

Естественно, что ребенок, у которого правая сторона функционально еще ничем не отличается от левой, в обиходе постепенно путает правую руку с левой и не придает значения направленности букв и даже целых слов, выписывая или прочитывая их то с левого, то с правого конца (в фазе срисовывания букв ребенок не смешивает правую руку с левой).

Не будем останавливаться на эмпирически намеченных с большей или меньшей проницаемостью приемах обучения ребенка письму, которые воздействуют на последовательность оформления технических фонов и автоматизмов. Здесь уместно упомянуть лишь о некоторых фазах, неизбежно проходимых каждым подростком в течение такого обучения. Первые пробы письма выполняются ребенком крупно. Это зависит не только от относительной количественной грубости его пространственных координаций. Другая и, скорее всего, основная причина предпочтения крупного письма непосредственно связана с указанным выше несоответствием между движениями кончика пера и движениями точек самой конечности. Легко

представить себе, что при тех же соотношениях длин рычагов разница между очертаниями траекторий пера и, например, концов пальцев будет тем менее ощутимой, чем крупнее выводимые пером знаки. Циклографические наблюдения прямо подтверждают это. Только по мере освоения требующейся здесь перешифровки ребенок с уверенностью переносит зрительные коррекции движения на кончик своего пера и приобретает автоматическое умение заставить его воспроизвести любое желаемое очертание. Это постепенное освоение позволяет ему мало-помалу уменьшать величину выписываемых букв. Мы не останавливались бы так долго на развитии этой перешифровки импульсов, если бы это не было очень общим явлением, происходящим буквально при всех действиях, совершаемых с помощью орудия: ножа, иглы, паяльника, плоскогубцев, электросварочного электрода и т.п. Взрослый, осваивающий технику работы с подобным орудием, имеет уже в своем распоряжении много аналогичных, ранее приобретенных навыков, для которых нередко именно письмо является первым прототипом. Ребенку, лишенному такого опыта, освоение этой техники дается гораздо труднее.

Автоматизация охарактеризованного навыка состоит в переключении этой координационной компоненты из ведущего уровня действия *D* вниз в уровень пространственного поля *C*.

Наряду с этим процессом совершается автоматизация другого рода — освоение письма по линейкам. Движение предплечья, ведущего перо вдоль строки, приспособляется к требованиям разграфленной плоскости, лежащей перед глазами, и постепенно переводится из области зрительного контроля в область проприоцептивного, при котором ровная расстановка и направленность строк удаются уже и на неразграфленной бумаге. Эта фоновая слагающая переключается из ведущего уровня в экстрапирамидный подуровень стриатума *C1*.

Наконец, постепенно происходит, но медленнее и труднее всего осваивается овладение элементами собственно скорописи, связанное с выработкой фоновых автоматизмов в обоих нижних уровнях — таламопаллидарном *B* и руброспинальном *A*.

Таким порядком усваивается правильное распределение нажимов (перо перестает цепляться за бумагу, делать кляксы и производить утрированно жирные нажимы), привычка к слитному писанию слов и, наконец, скорописная колебательная несущая синергия. Самые древние по филогенезу и раньше всех остальных развивающиеся в онтогенезе нижние уровни обуздываются труднее и позднее всех, и настоящая скоропись вырабатывается только путем очень долгой практики, всегда уже по выходе из отрочества.

Общее развитие моторики во второй половине отрочества (между 7 и 10 годами) направлено к постепенному овладению теми координационными возможностями, которые создались у ребенка в результате окончательного анатомического созревания моториума (как сказано выше, примерно к 4-му году жизни). К началу 2-го десятилетия "вместе с усовершенствованием двигательного аппарата несколько уменьшается богатство движений, но налаживаются мелкие точные движения вследствие постепенного развития корковых компонентов, однако остается неспособность к длительной установке на продуктивную работу вследствие все еще недостаточного развития фронтальных механизмов. Известная гармония, достигнутая во время второго детства, снова нарушается в боль-

шей или меньшей степени в пубертатном возрасте, когда происходит перестройка моторного аппарата. В это время замечается снова богатство движений, но без детской грации, нарушается умение владеть движениями и соразмерять их, получается неловкость, угловатость, избыточные гримасы, недостаток координации движений, нарушение торможения" (М.О. Гуревич).

Эти сдвиги в моторике в переходном возрасте, совпадающие и с разнообразными сдвигами в психике, также обусловленными перестройкой всего эндокринного аппарата и нервной системы, бывают очень многообразны и подводят вплотную к весьма важному вопросу, которого здесь можно будет коснуться лишь вскользь. Так как при этих колебаниях и временных регрессиях не может быть и речи не только об органических, субстратных нарушениях, но и об утере каких-либо уже приобретенных навыков или автоматизмов, то, очевидно, дело заключается в чисто функциональных изменениях уже достигнутых пропорций и соотношений между координационными уровнями. Эти отклонения бывают различны отчасти вследствие не поддающихся учету индивидуальных различий между субъектами и путями их развития, но в значительной мере они определяются и тем, каковы были конституционные пропорции между координационными уровнями до наступления пубертатных перестроек и какими эти пропорции станут по окончании таких перестроек. Этот вопрос о сдвигах пропорций составляет лишь часть гораздо более широкой и общей проблемы первостепенного значения, которую можно обозначить как проблему *индивидуальных моторных профилей,* т.е. индивидуальных, конституционно обусловленных соотношений между степенями развития и совершенства отдельных уровней построения движений. Эта проблема, в свою очередь, близко соприкасается с проблемой моторной одаренности, которая, однако, гораздо сложнее и в настоящее время вряд ли может быть разрешена правильно в методологическом отношении. Эта проблема включает трудный и не всегда объективно установимый вопрос *оценки* и требует количественных определений. Устранив ее как преждевременную, остановимся в немногих словах на проблеме профилей, которая допускает более надежную качественную оценку и имеет большое практическое значение.

У разных субъектов встречаются в норме очень различные соотносительные степени развития отдельных координационных уровней. Есть люди, отличающиеся большим изяществом и гармонией телодвижений (уровень *B*), но их руки необычайно беспомощны, они не умеют управиться ни с молотком, ни с каким-либо примитивным орудием (уровень *D*). Другие обладают исключительной точностью мелких движений (гравирование, работы часовщика или ювелира) и при этом мешковаты, неловки, спотыкаются о свои ноги, роняют стулья, мимо которых проходят: у этих лиц имеется резкое преобладание уровней *C2* и *A* над уровнем *B*. Необходимость выработки системы наблюдений, которая позволила бы объективно определять подобные моторные профили и пропорции, совершенно назрела, но, к сожалению, пока такой системы еще не существует и приходится ограничиваться весьма приблизительными описаниями[1].

Диспропорции подростка в пубертатном периоде чаще всего сводятся к:

---

[1] В труде М. Гуревича и Н. Озерецкого "Психомоторика" (М., 1930) имеется попытка построения тестовой схемы для определения подобных моторных профилей и сопоставления их с конституционными данными. Однако эта попытка еще очень несовершенна.

1) резкому выпячиванию уровней пирамидно-коркового аппарата в ущерб экстрапирамидным фоновым уровням (этим объясняются наблюдаемые в этом возрасте угловатость, неловкость глобальных движений, неустойчивость тонуса);

2) нарушению нормальных, уже начавших устанавливаться взаимоотношений между уровнем действия D и фоновыми уровнями, доставляющими ему необходимые для большинства действий технические сноровки и так называемые высшие автоматизмы.

Отсюда проистекают деавтоматизация, недостаток точности движения, большая утомляемость. С течением времени эти диспропорции выравниваются, и у юноши устанавливается индивидуальный психомоторный профиль взрослого человека.

4. Природа навыка и тренировки

Как было сказано в 3-м разделе этого очерка, оформление моторики до степени развития, свойственной взрослому, завершается только после полового созревания, т.е. намного позже, чем заканчивается анатомическое сформирование центральной нервной системы. Это обстоятельство уже указывает на то, что в очень значительной мере сущность развития моторики в онтогенезе заключается не в биологически обусловленном дозревании морфологических субстратов, а в накоплении на основе этих субстратов и с их помощью *индивидуального опыта* особи. Самые первоначальные фундаментальные приобретения этого опыта, более или менее общечеловеческие по своему содержанию, имеются действительно к началу возмужания, но, разумеется, и в течение всей своей последующей жизни индивидуум продолжает пополнять этот психомоторный опыт, приобретать новые навыки, умения и координационные комбинации. Такое обогащение отчасти происходит самотеком, более или менее непроизвольно. Гораздо чаще оно осуществляется сознательно и намеренно, когда субъект либо сам воспитывает и вырабатывает в себе новые двигательные навыки, либо переходит к учителю, берущему на себя руководство такой выработкой.

Все эти прижизненно, онтогенетически приобретенные двигательные возможности обозначаются обобщенно термином "*двигательные навыки*" (иначе — моторные навыки, умения, сноровки, по-английски — skills, по-немецки — Fertigkeiten и т.д.), процессы же их намеренной, сознательной выработки объединяются в понятия двигательной тренировки. Подобные навыки приобретаются по каждому из координационных уровней, и, как было показано выше на примерах локомоции и письма, каждый навык в отдельности часто представляет очень сложную, многоуровневую структуру.

Вплоть до настоящего времени продолжает стойко держаться представление о двигательном навыке как о цепочке условных замыканий, вырабатывающихся посредством *проторения* соответственных межнейронных связей и объединяющихся в нечто, получившее (внутренне противоречивое) наименование "динамических стереотипов". Экстраполяторы теории условных рефлексов прошли, однако, мимо ряда капитальных различий между обоими названными процессами. Прежде всего, при выработке условных замыканий путем настойчивого повторения стимулов подопытное животное или человек ставится в условия полной пассивности по отношению к ним. Напротив, формирование двигательного навыка есть на каждом этапе *активная* психомоторная *деятельность*.

В противоположность концепции монотонного, чисто количественного роста проторения процесс выработки навыка является при этом столь же многофазным и сложным, как и сама его мозговая структура. Еще важнее другое. Как уже было показано в очерках III и IV, условия кольцевого регулирования с непрерывным учетом неподвластной динамики окружения находятся в решающем противоречии с какой бы то ни было возможностью запечатления в мозгу стандартных мышечных формул. А вдобавок при подступе к выработке нового навыка проторение и не могло бы привести ни к чему, кроме запечатления неловких и неправильных движений начинающего. Вся диалектика развития навыка как раз и состоит в том, что там, где есть *развитие,* там каждое следующее исполнение лучше предыдущего, т.е. *не повторяет его;* поэтому упражнение есть, в частности, *повторение без повторения.* Разгадка этого кажущегося парадокса в том, что правильно проводимое упражнение повторяет раз за разом не то или иное *средство решения* данной двигательной задачи, а *процесс решения* этой задачи, от раза к разу изменяя и совершенствуя средства.

В ряде других работ[1] мы подробно выяснили, как в результате постепенно осложнявшихся двигательных задач в филогенезе вырабатывались одна за другой сенсомоторные системы, обозначаемые нами как уровни построения движений и по качеству и по составу осуществляемых ими сенсорных синтезов наиболее подходящие для успешного двигательного разрешения этих все более сложных по смыслу и технике задач. Формирование субстратов этих уровней как в филогенезе, так и в онтогенезе было рассмотрено во втором отделе настоящего очерка.

Для каждого двигательного акта, потенциально доступного человеку, в его центральной нервной системе имеется адекватный уровень построения, способный реализовать основные сенсорные коррекции этого акта, соответствующие его смысловой сущности. Но, как было указано, чем сложнее движение, тем многочисленнее и разнообразнее требующиеся для его выполнения сенсорные коррекции. В связи с этим по мере выработки навыка данного двигательного акта в его выполнении начинает принимать участие целая иерархия уровней. Наивысший из них для данного акта, берущий на себя реализацию основных смысловых коррекций, мы обозначаем как *ведущий уровень* для этого движения. Подчиненные ему нижележащие уровни, обеспечивающие выполнение вспомогательных технических коррекций, мы называем *фоновыми уровнями.* Как правило, в каждом двигательном акте в поле сознания попадает только содержание его ведущего уровня, какова бы ни была его абсолютная высота, тогда как коррекции фоновых уровней остаются за порогом сознания. Таким образом, при выполнении действия в уровне предметных действий *D* могут остаться неосознаваемыми его фоновые компоненты из уровня пространственного поля *C1* и *C2.* А в следующем движении, если его ведущим будет уровень синергий *B*, осознаваться будет этот уровень, хотя по абсолютной высоте он ниже, чем уровень *C*. Разумеется, это положение не предполагает, что любые ведущие уровни равны по степени

[1] "О построении движений" (1947); тезисы в журнале "Теория и практика физической культуры" (1940); глава "Координация движений" в учебнике физиологии для физкультурных вузов под ред. М. Маршака (1945); К вопросу о природе и динамике координационной функции // Тр. Ин-та психологии АПН. 1945; и т.д.

осознанности. Вообще чем выше уровень, тем больше в нем как компонента сознательности, так и компонента произвольности.

В ряде случаев ведущий уровень находит в нижележащих уровнях готовые коррекционные механизмы, пригодные для использования их в качестве фоновых для данного движения. Однако процент движений, которые нуждаются в построении для них фоновых составляющих, не имевшихся до этого в инвентаре низового уровня, значительно больше, особенно в высших уровнях. К подобным фоновым компонентам относятся, например, многочисленные технические навыки или сноровки, обслуживающие сложные предметные акты из уровня *D*. Сами эти сноровки, вроде удара молотком, движений вязального крючка, движений рукоятью управления самолета, станочного суппорта и т.п., могут не содержать в себе ничего, кроме типических координаций уровня пространственного поля *C*. Но в этом уровне нет и не может быть *мотивов к самостоятельной выработке* подобных двигательных комбинаций вне запросов со стороны предметного уровня *D*. Нет в этих нижележащих уровнях и *мотивов к воспроизведению* ("экфории") подобных движений иначе как по требованиям уровня *D*, включающего их в целостную смысловую схему. Отсюда получается, в частности, что инвентарь движений и координаций уровней *B* и *C* у человека гораздо богаче, чем у животных. Но что касается самостоятельных движений, совершаемых на этих уровнях, то кульминационные точки уровней в филогенезе, несомненно, уже пройдены, и, например, ряд движений, производимых на уровне пространственного поля хищными птицами, явно более совершенен, чем у человека. Птица в состоянии делать по уровню *C1* лучше, но только несравненно меньше, чем человек.

Прижизненно вырабатываемые двигательные фоны обычно обозначаются термином "*автоматизмы*", а самый процесс их выработки — термином "автоматизации двигательного акта". Оба названия объясняются именно тем, что фоновые компоненты движений остаются за порогом сознания. Как только какая-либо группа координационных коррекций переключается из ведущего уровня в фоновый, наиболее адекватный для нее по качеству и составу его коррекций, так она уходит из поля сознания, автоматизируется. В психоневрологической литературе принято делать различие между "низшими" автоматизмами (элементарные синергии, механизмы реципрокной и перекрестной иннервации и т.п.) и "высшими" (специальные, инструментальные или предметные сноровки). Но такое разделение не имеет реальной ценности, так как те и другие являются, по сути, фоновыми двигательными компонентами, только протекают они в разных случаях на разновысотных уровнях и обслуживают то более высокие, то более низкие ведущие уровни. Механизмы возникновения и побуждения к действию ("экфорирования") высших и низших автоматизмов одинаковы, и одни переходят в другие без четкой границы.

На основе этого краткого схематизированного анализа мы можем яснее проследить физиологические пути выработки нового двигательного навыка в онтогенезе. В этом процессе выработки следует остановить внимание на нескольких наиболее характерных явлениях. Мы поясним вкратце: 1) явление автоматизации, 2) явление предварительных (прелиминарных) и вторичных коррекций, 3) типические последовательные стадии выработки навыка крупных силовых движений, 4) явления деавтоматизации и сбиваемости.

В самом начале освоения нового движения все применяемые для него коррекции совершаются на его ведущем уровне. Исключение составляют наиболее обобщенные низовые коррекции, которые являются изначальной подкладкой почти всякого движения, выработавшейся уже на самых ранних стадиях онтогенеза, а также коррекции, случайно имеющиеся в готовом виде от ранее освоенных аналогичных движений. Так как ни один уровень не универсален настолько, чтобы обладать адекватными коррекциями для всех сторон движения, то поневоле вначале всякое движение совершается неуклюже, при временном содействии более или менее подходящих коррекций, какие данный ведущий уровень в состоянии предоставить данному движению. Отсутствие автоматизмов вызывает при этом большую перегрузку сознания, вынужденного вникать в каждую техническую подробность движения. В процессе тренировки происходит постепенное выделение фоновых компонент, которые переадресовываются ведущим уровнем в тот из более низовых уровней, в котором имеются предпосылки для наилучшего выполнения именно этих коррекций.

По мере выработки в низовых уровнях соответственных фоновых автоматизмов все больший процент технических фонов уходит из поля сознания, разгружая этим ведущий уровень и в то же время находя для себя условия значительно более точного и совершенного выполнения. Из всего изложенного с необходимостью следует, что каждое переключение той или иной компоненты движения из ведущего уровня в фоновый является, во-первых, более или менее *внезапным* скачкообразным изменением в процессе движения, а во-вторых, обязательным качественным скачком, поскольку первоначальные коррекции этой слагающей сменяются при этом качественно совершенно иными.

Например, очень характерным явлением, сопровождающим переключение той или другой слагающей движения из уровня пространственного поля в уровень синергий, оказывается снятие зрительного контроля, присущего уровню *C*, и замена его проприоцептивным, главенствующим в уровне *B*. Это явление заключается в том, что субъект оказывается в состоянии делать какую-то часть работы *не глядя* и вдруг обнаруживает это. Оно широко известно как один из спутников автоматизации и всегда соответствует значительному повышению техники движения. Из сказанного очевидно также, что замена зрительного контроля проприоцептивно-осязательным является необходимым спутником отнюдь не при всякой автоматизации, а только в тех случаях, когда двигательные компоненты переключаются из уровня *C2* в уровень *B*. В тех случаях автоматизации, когда компонент переводится, например, из *D* в *C2*, точно таким же порядком *включается* точный зрительный контроль (например, приобретение навыка рисования с натуры связано с переходом от изображения голых схем к правильному наблюдению и воспроизведению видимого).

Процесс разверстки фоновых компонент движения по соответствующим уровням сложен, потому что ему, очевидно, необходимо должно предшествовать определение и выявление этих компонент. В каждом двигательном акте мы должны различать: 1) его смысловую структуру и 2) его двигательный состав. Смысловая структура целиком вытекает из существа возникшей двигательной задачи и определяет ведущий уровень построения, которому эта задача приходится "по плечу". Двигательный же состав определяется не одной только задачей, а ее столкновением с двигательными возможностями особи, устройством кинематических

цепей этой особи, наличием того или другого орудия, содержанием накопленного к этому времени психомоторного опыта и т.д. Задачу быстрого переноса своего тела в пространстве человек решает спринтом, лошадь — галопом, птица — полетом; задачу скрепления двух жестких тел один решает связыванием, другой — сколачиванием, третий — склейкой, спайкой, сваркой и т.п.; задачу вдевания нитки в иглу мужчины и женщины разрешают обычно прямо противоположными способами.

Сущность процесса автоматизации, требующего иногда длительного времени и настойчивого упражнения, состоит именно в выработке центральной нервной системой плана описанной выше разверстки фонов, в определении двигательного состава действия; попутно начинается и самое осуществление этой разверстки указанным выше порядком. Определение двигательного состава неврологи называют иногда "составлением *проекта движения*"; решающую роль в этом процессе принято приписывать лобным кортикальным системам, тесно связанным и с пирамидными, и с экстрапирамидными эффекторами, а также с мозжечком через промежуточные ядерные инстанции в варолиевом мосту. Наблюдения над черепно-мозговыми ранениями с четко очерченными очагами показывают, однако, важнейшую роль в этом процессе проектировки двигательного состава также и теменных полей коры, занимающих срединное положение между сенсорными областями зрения, слуха и осязания с проприоцепторикой. По-видимому, при разнообразных различиях между образами действий той или другой кортикальной системы для полноценного процесса проектировки необходима совместная, строго скоординированная работа обеих систем, вероятно, при соучастии еще немалого количества аппаратов коры больших полушарий мозга, пока недостаточно изученных.

Необходимо указать в нескольких словах на совершенно своеобразную роль премоторных полей коры в процессах автоматизации, в выработке и последующей экфории двигательных фонов (Kleist, 1934; Лурия, 1948). Не будучи сами по себе эффекторными центрами в строгом смысле, премоторные поля (поле 6, по Фогту, с различными индексами) имеют очень широко представленную проводниковую связь как с прилегающими к ним пирамидными зонами, так и с паллидумом и, по всей вероятности, со стриатумом, хотя на этот счет еще существуют сомнения. При посредстве всех этих соединительных путей премоторные поля осуществляют функциональную связь, с одной стороны, между кортикальными системами (лобной, необходимой для создания "проекта движения", и теменной, осваивающей смысловую структуру действия и передающей ее двигательному составу), с другой — с низовыми уровнями, в которых должны выработаться фоновые автоматизмы. Это посредничество обеспечивает как первоначальное формирование автоматизмов, так и их побуждение к действию (экфорию) при каждом выполнении уже разученного действия. Мы решаемся говорить о функциях премоторной зоны с такой категоричностью потому, что многочисленные случаи военных ранений этой зоны дают синдромы четкого избирательного выпадения именно обеих названных функций. У пострадавших наступает как резкая деавтоматизация всех ранее доступных им действий, так и полная потеря способности к выработке новых автоматизмов до наипростейших ритмизированных постукиваний.

В третьем разделе настоящего очерка при характеристике онтогенеза ходьбы

мы бегло коснулись одного явления, заслуживающего более обобщенного рассмотрения. Там было указано, что первоначально для удержания стойкой длины шага ребенок в полной мере использует проприоцептивные механизмы, вносящие последующие поправки к первоначальному поступательному импульсу "эпсилон", даваемому им более или менее наудачу. В дальнейшем эти вторичные коррективы (post factum) уступают место другому, более совершенному приему координирования, дающему центральной нервной системе возможность заранее (ante factum) учесть требуемую силу импульса в зависимости от положения на периферии. Этот более точный путь корригирования заслуживает названия предварительных (прелиминарных) коррекций. Он не снимает, разумеется, вторичных коррекций целиком, но этим коррекциям остаются теперь на долю только малые, уточняющие поправки и добавки.

Явление предварительных коррекций служит во всех случаях более поздней и более совершенной формой координации по сравнению с механизмами вторичных коррекций. Оно наблюдается во всех уровнях центральной нервной системы.

Разумеется, это явление изменяет свой облик в зависимости от общего характера данного уровня и выражается в различных картинах двигательных нарушений в тех случаях, когда эти прелиминарные регуляции по каким-либо причинам выпадают, суррогатно заменяясь вторичными коррекциями. На самом низовом уровне рубро-спинального рефлекторного кольца мы встречаемся с этими предварительными установками и регулировками периферического нервно-мышечного аппарата в виде адаптационно-трофических импульсов симпатической нервной системы, воздействующих на мышцу через вступающие в нее веточки симпатических нервов. Как было указано выше, симпатическая система вступает в связь с центральной нервной системой через область hypothalami, т.е. именно через ту зону центральной нервной системы, в которой располагаются эффекторы описывающего уровня.

В уровнях, наиболее тесно связанных с пространственным координированием движений, в обоих срединных уровнях *B*, и *C*, эти механизмы проявляют себя так, как это было пояснено выше при рассмотрении акта ходьбы. Такая же прелиминарная дозировка импульса происходит и при ударных, и при метательных движениях, и при сложных гимнастических синергиях.

Что касается ударных, а особенно метательных движений, то для них совершенство прелиминарных установочных механизмов особенно важно потому, что вторичные коррекции здесь либо очень ограничены, либо совершенно невозможны. Когда мяч или граната брошены, то вмешаться в их полет и внести в него поправки уже нельзя.

То же справедливо и для тех случаев, когда метательным снарядом является собственное тело, например для прыжка или сальто. Своеобразные предварительно-установочные приемы "прицеливания" перед бросанием мяча или камня, наблюдаемые у метких, ловко бросающих детей, по-видимому, не так бесполезны, как может показаться при поверхностном анализе их движений.

Наконец, в предметном уровне *D* те же предварительные координационные компоненты (совершенно пропадающие у больных с премоторными очагами) проявляются в самом планировании движений или действий. Когда мы, идя по улице, выбираем направление нашего движения так, чтобы разойтись с автомобилем, который еще далеко, но который ко времени нашего выхода на середину улицы

окажется там-то, мы производим предварительную (прелиминарную, антеципационную) планировку наших действий. Еще более простой пример: если на нашем пути к другому концу комнаты посередине стоит стул, мы с первого шага направим движение так, чтобы обогнуть его экономнейшим образом. Субъект с премоторным поражением пройдет прямо по направлению к своей конечной цели и поэтому, дойдя до стула, вынужден будет круто повернуть и обойти его при помощи особого движения. Внимательный анализ обнаруживает антеципации аналогичного типа во всяком более или менее сложном автоматизированном профессиональном движении, например тогда, когда правая рука заканчивает очередную манипуляцию, а левая уже протягивается за следующим инструментом и т.п.

Во всех координационных уровнях переход к все более широкому использованию прелиминарных механизмов, сменяющих вторичные коррекции, дается не сразу и свидетельствует о достигнутой более высокой степени совершенства выработки навыка.

В другой работе[1] мы подробно рассмотрели явления, сопровождающие постепенную выработку навыка при движениях, развивающих значительные реактивные и инерционные силы. Такими движениями являются крупные, размашистые (глобальные) движения, как, например, ходьба, бег, прыжки, далее, метательные (баллистические) движения и очень близкие к ним по структуре ударные движения молотком или кувалдой. Не подлежит сомнению, что в большей или меньшей мере те же явления происходят и при развитии навыков многих движений других типов. В настоящем очерке мы дадим только самое краткое описание этих явлений.

При выработке двигательного навыка к движениям указанных групп можно довольно отчетливо наблюдать три последовательные стадии, знаменующие собой различные приемы, последовательно применяемые субъектом для преодоления избыточных степеней свободы подвижности и для борьбы с реактивными силами.

В начале освоения движения новичок подходит к разрешению этой задачи самым примитивным образом: он фиксирует все суставы движущегося органа путем одновременного напряжения всех антагонистов и тем самым заранее и с запасом выводит из строя все степени свободы, оставляя только одну-две, непосредственно необходимые для данной фазы движения. Движение становится скованным, неловким, так как вследствие иррадиации применяемого субъектом разлитого возбуждения напрягаются многие мышцы, не имеющие никакого отношения к выполняемому движению: поза и мимика становятся скованными, дыхание задерживается, язык высовывается и т.п.

На следующей ступени упражнения, уже освоившись в известной мере с тем, когда и в каком направлении постигнет его очередной толчок реактивной силы, субъект позволяет себе постепенно, одну за другой, высвобождать фиксированные до того степени свободы, чтобы предотвратить возникающие реактивные толчки уже не заблаговременной фиксацией, а короткими фазическими импульсами, осуществляемыми в нужный момент и в нужном направлении. Это вызывает огромную энергетическую разгрузку от дорогостоящих статических тетанусов

[1] О построении движений. М.: Медгиз, 1947.

первой стадии, но: 1) все еще очень перегружает центральную нервную систему необходимой настороженностью и установкой на упомянутые быстрые и адекватные реакции и 2) создает малоэкономичные многозубчатые силовые кривые, которым выше уже дана была критическая оценка (в 3-м разделе очерка по поводу эволюции детской ходьбы).

На третьей, наиболее совершенной ступени развития навыка (при ходьбе эта ступень общечеловечна, для многочисленных других движений она достигается лишь лучшими мастерами) борьба с реактивными помехами реализуется еще принципиально иным способом. Субъекту рано или поздно удается придать движению такую форму, при которой реактивные силы из помех, сбивающих движение, превращаются в значительной своей части в полезные силы, которые возникают, когда движение случайно сходит с правильной траектории, и стремятся вернуть его на эту траекторию. Движения подобного рода называются *динамически устойчивыми.* Если такая удачная форма движения найдена и освоена, субъект может, очевидно, позволить себе освободить полностью суставы движущегося органа от фиксаций и нервную систему — от настороженной реактивности, требовавшейся в предыдущей стадии. Субъективно подобное движение ощущается как протекающее само собой. Спортсмены иногда определяют достигаемое при этом субъективное состояние как "расслабление", хотя, конечно, правильнее было бы назвать это состояние снятием фиксаций, так как "расслабляются" при этом, приобретая максимально свободную подвижность, не мышцы органа, а его сочленения.

Для выполняемых человеком глобальных и баллистических движений динамически устойчивые формы возможны и найдены. Важно указать, что для каждой данной двигательной задачи существует одна динамически устойчивая форма, связанная с биомеханикой человеческого тела, или, во всяком случае, такие формы исчисляются только единицами. По отношению к спортивным и легкоатлетическим движениям эти динамически устойчивые формы близки к тому, что называется стилями движения. Изложенные обстоятельства поясняют, почему таких стилей всегда столь немного. Заслуживает внимания еще то, что дискретность, или разобщенность, подобных устойчивых форм, отсутствие постепенных переходов между ними также могут легко найти объяснение.

Необходимой предпосылкой для образования навыка является возможность повторять одно за другим разучиваемые движения. В динамически устойчивых формах сами реактивные силы, как сказано, обеспечивают движению возможность каждый раз выдерживать одну и ту же правильную траекторию. Все же прочие формы по той же причине сами разрушаются, их трудно повторять одинаково, и даже по этому одному они не смогут запечатлеться прочно.

В заключение остается упомянуть о явлениях сбиваемости и деавтоматизации. Произведенный выше анализ процесса автоматизации показывает, что деавтоматизация может возникнуть от двух причин: или от выбытия из строя тех уровней, в которых нашли себе место те или другие фоновые автоматизмы, или, при сохранности этих уровней, от нарушения тех посредствующих механизмов, которые передают соответствующие элементы движения фоновым уровням и осуществляют их экфорию. При нарушении работы какого-либо уровня деавтоматизации подвергаются только те фоны, которые осуществлялись этим уровнем, но зато она распространяется на движения *всех вышележащих ведущих уровней.*

Наоборот, при прекращении функции, например, премоторных полей перестают действовать автоматизмы всех низовых уровней, но зато деавтоматизации подвергнутся при этом только движения из уровня предметных действий *D*, движения же уровня пространственного поля или уровня синергий не пострадают.

Деавтоматизация происходит отнюдь не только на органической основе. Она может получаться, например, при сильном утомлении, чрезмерном злоупотреблении тренировкой того или другого приема (при "забалтывании"), наконец, при возникновении каких-либо осложняющих, сбивающих условий. Чем прочнее и рациональнее выработан навык, тем крепче он противостоит такого рода деавтоматизирующим воздействиям.

Очерк седьмой

БИОДИНАМИКА ЛОКОМОЦИЙ[1]
(генез, структура, изменения)

1. Материал, исходные положения, техника

Начав в 1926 г. работу по циклограмметрическому изучению локомоций, мы имели перед собой очень узкую и непосредственно прикладную цель: изучить силовые явления в центре тяжести всего тела при ходьбе и беге, чтобы вывести отсюда динамические коэффициенты для расчета пешеходных мостов. В последующие годы мы убедились в том, что локомоции способны дать очень обширный и интересный материал для исследования и с физиологических точек зрения. Преимущества локомоций как объекта изучения двигательных процессов в основном сводятся к следующему.

Во-первых, локомоторные движения, в частности ходьба, относятся к числу наиболее высоко автоматизированных движений. Они обладают строжайшей повторяемостью от цикла к циклу во всех деталях и величайшей стойкостью деталей у каждого данного исследуемого. Это позволяет фиксировать внимание и иметь постоянный критерий для отличия случайного от закономерного.

Во-вторых, локомоторные движения представляют собой очень обширные синергии, охватывающие всю мускулатуру и весь двигательный скелет сверху донизу и вовлекающие в работу большое количество отделов и проводящих путей центральной нервной системы. Это позволяет ожидать в них наиболее ярких проявлений взаимодействия центральных и периферических процессов и наибольшего изобилия данных, характерных для протекания двигательного процесса вообще.

В-третьих, локомоторные движения обладают всеобщностью. Выбор их в качестве объекта дает исследователю огромный контингент наблюдаемых, владеющих, например, актом ходьбы безусловно лучше и совершеннее, нежели любым из своих индивидуальных профессиональных навыков. Возникновение и развитие

[1] Очерк был напечатан в виде вводной статьи в сборнике "Исследования по биодинамике ходьбы, бега, прыжка" под ред. Н.А. Берштейна (М.: Физкультура и спорт, 1940).

локомоций у нормальных субъектов совершается с не меньшей регулярностью и правильностью, нежели морфологическое развитие и конструирование тканей и органов. Эта всеобщность и необходимость обеспечивают материал для широких сравнений и открывают путь к изучению онтогенеза движения: его зарождения, становления, развития и инволюционного распада.

В-четвертых, локомоции относятся к числу чрезвычайно древних движений. Они старше, чем кора мозговых полушарий, и, несомненно, оказывали влияние на развитие центральной нервной системы наряду с дистантными рецепторами Sherrington. Недаром, например, некоторые клиницисты ставят в прямую связь развитие corporis Luysii с переходом от четвероногой походки к выпрямленной. Эта древность гарантирует глубокую органическую связь между локомоторным процессом и самыми различными структурными этажами центральной нервной системы и позволяет надеяться обнаружить в самом протекании локомоторного акта следы этих различных этажей и последовательных филогенетических наслоений.

В-пятых, наконец, локомоции представляют собой необычайно стойкую и типичную структуру. Этого нельзя было предусмотреть a priori, но уже к 1934 г. для нас стало ясным, что все основные структурные детали нормальной ходьбы присущи всем без изъятия взрослым нормальным субъектам, с которыми нам приходится иметь дело, и что индивидуальные различия между ними зависят не от различной структуры локомоторного акта или от контингента встречающихся в нем деталей, а только от разнообразия ритмовых и амплитудных пропорций между этими деталями. Такой результат позволил нам построить обстоятельную номенклатуру структурных элементов локомоторного акта[1], содержащую многие десятки стойких явлений, обязательно свойственных каждому взрослому нормальному исследуемому. Материал, собранный нами, показал, что стойкая всеобщность структуры локомоторного акта распространяется еще много шире, чем мы могли думать тогда, и что ее корни прослеживаются с ясностью и в раннем онтогенезе, и в филогенезе, и в качественных изменениях локомоторного акта, каковы бег или маршировка, и, наконец, при ряде патологических нарушений. Об этом речь будет дальше.

Все эти обстоятельства (автоматизированность, обширность, всеобщность, древность и стандартность) делают локомоторные процессы чрезвычайно благодарным объектом для изучения общей физиологии движения.

Для того чтобы пояснить, в чем заключается главный интерес движения как физиологического объекта, надо напомнить основные черты его построения. Движение организма с механической стороны возникает как результат изменения условий равновесия в силовом поле, охватывающем подвижный орган животного.

В случае спонтанного движения равновесие нарушается вследствие перераспределения напряжений в мышцах животного — в самом движущемся органе или вне его. Раз начавшееся движение органа, изменяя его как положение по отношению к направлениям внешних сил (прежде всего силы тяжести), так и степени

---

[1] См. "Исследования по биодинамике локомоций" под ред. Н.А. Бернштейна (М.: Медгиз, 1935. Кн. 1).

растяжения связанных с органом мышц, продолжает изменять силовые соотношения в окружающем поле, приближая эти соотношения к равновесию или еще больше удаляя их от него. При этом изменение мышечных напряжений вызывает движение, а движение, меняя степени растяжения мышц, укорачивая или удлиняя их, вызывает дальнейшие изменения их напряжений. Описанную здесь обратную связь мы называем *периферическим циклом взаимодействий.*

Математический анализ подобной связи между силами (мышц) и движением (органа) показывает, что эта форма взаимоотношений *не допускает однозначной зависимости между силой и движением,* т.е. что одна и та же последовательность смены сил может вызвать различные движения при последовательных повторениях. Такое отсутствие однозначности зависит от того, что связь между силой и движением строится в биомеханическом плане по типу дифференциального уравнения не ниже второго порядка, требующего для своего решения не менее двух независимых от самого уравнения исходных величин. Эти независимые "постоянные интегрирования" (исходное положение органа, его начальная скорость, состояние суммарного силового поля и т.п.) могут, меняясь от раза к разу, привести к совершенно разным эффектам при одних и тех же первичных иннервациях.

Правильная координация и соответствие двигательного результата с намерением животного возможны только при том условии, что центральная нервная система будет располагать постоянной сигнализацией о протекании этих независимых параметров интегрирования и строить свои эффекторные импульсы в точной зависимости от изменения последних. Такая сигнализация обеспечивается прежде всего проприоцептивной системой и создает над движением второе кольцо обратной связи (по нашей терминологии, *центральный цикл взаимодействий*).

В этом цикле эффекторные импульсы меняют напряжение мышц, вызывая ускорения звеньев и систем. Ускорения приводят к изменениям положений и скоростей, а последние, как и сами по себе изменения мышечных напряжений, пробуждают *проприоцептивные сигналы.* Эти сигналы влияют на протекание эффекторных импульсов, внося в них соответствующие коррективы и побуждая эффекторные центральные аппараты *пластически приспособляться* к меняющимся условиям на периферии.

Таким образом, связь между движением и деятельностью нервной системы является одновременно очень тесной и очень сложной.

Циклограмметрический метод изучения движений дает здесь исследователю неоценимые возможности. Он обеспечивает комплексную регистрацию движений целого органа или даже всего тела, давая запись перемещений по пространственно-временной координатной сетке для любого количества опознавательных точек тела одновременно. Он позволяет вести эту запись в очень малых отрезках времени путем применения съемочных частот порядка 150—200 в секунду и выше. И, что еще важнее, он позволяет при этом производить точный количественный анализ получаемых записей.

Как уже сказано, центрально-нервные эффекторные импульсы не проявляются в движении непосредственно. Представление элементарных учебников о том, что возбуждение *сгибательных* мышц приводит к *сгибанию* обслуживаемого ими сочленения, а возбуждение *разгибательных* — к его *разгибанию,* оказалось грубым заблуждением еще в самом начале работ по циклограмметрическому изучению

движений. Гораздо более тесной и часто встречающейся оказалась связь между активным подъемом мышечного напряжения (эффекторным импульсом) и *ускорением* движения органа, связанного с мышцей. Эта связь была известна Fischer, ее подробно изучил на простых объектах Wagner, с нее, как с отправной точки, начала некогда и наша исследовательская группа. Для случаев, когда справедлива такая форма связи, циклограмметрический метод дает все необходимые для анализа средства, так как с его помощью могут быть легко и с хорошей точностью подсчитаны ускорения движения всех интересующих нас опознавательных точек тела. В случаях упомянутого типа кривые ускорений могут дать очень верную картину протекания эффекторных импульсов на конечном общем пути.

В более сложных и общих случаях, при больших по амплитуде движениях многозвенных кинематических цепей (например, целой руки или целой ноги) ускорения отдельных точек могут быть очень несхожими с протеканием действительных мышечных напряжений. Здесь на помощь приходит другая форма математической характеристики — *результирующие силовые моменты* в сочленениях, точно так же получаемая из опытного материала циклограмметрическими методами расчета. Эти силовые моменты, метод расчета которых был разработан нами впервые в 1928 г., представляют собой величины, очень близкие к прямой пропорциональности с равнодействующей мышечных напряжений всех мышц, окружающих данное сочленение. Поэтому кривые изменений мышечных силовых моментов в том или другом сочленении дают уже чрезвычайно близкую к действительности характеристику протекания эффекторных импульсов в каждой отдельной нервно-мышечной биомеханической группе.

Теперь можно возвратиться к локомоциям, в частности к ходьбе. Анализ мышечных моментов в сочленениях ноги при ходьбе показал с несомненностью, что кривые мышечных силовых моментов ходьбы в большинстве своих деталей *очень близки к кривым динамических усилий в центрах тяжести звеньев и систем ноги по продольной слагающей* (т.е. по слагающей, направленной вдоль сагиттальной оси тела, сзади наперед, и обозначаемой нами буквой X). Динамические усилия, вычисляемые нами на основании ускорения точек, получаются из циклограмметрического материала гораздо легче и с меньшим числом технических предосторожностей, нежели мышечные моменты. Близкое сходство тех и других в акте ходьбы объясняется в основном тем, что действие силовых моментов направлено всегда по перпендикуляру к продольной оси звена. При ходьбе же отклонения звеньев ноги от вертикальности невелики, т.е. перпендикуляры к ним мало отклоняются от направления продольной координатной оси X. Отсюда и получается, что кривые продольных слагающих усилий ног при ходьбе дают довольно верное *качественное* представление о протекании нервно-мышечных эффекторных импульсов. Кривые *ускорений* центров сочленений обнаруживают при ходьбе, в свою очередь, четкое и закономерное сродство с кривыми динамических усилий в центрах тяжести звеньев. Это дает нам право при критическом подходе и соблюдении постоянных технических предосторожностей делать заключение о последованиях нервно-мышечных импульсов при ходьбе не только по кривым продольной слагающей динамических усилий, но и по их ближайшим дериватам — кривым ускорений по той же слагающей. Так именно и построены в настоящем сборнике анализы того материала, для которого расчет динамических усилий был нам недоступен по незнанию значений масс звеньев и положений

их центров тяжести. Для бега с его огромными и резкими отклонениями от вертикальности осей звеньев нельзя было опираться при анализе не только на ускорения, но даже, без особых критических приемов, и на динамические усилия, и там основные выводы всей работы базируются исключительно на разборе кривых моментов.

Ниже будет видно, какими разнообразными и сложными оказались для разных динамических ситуаций при ходьбе взаимоотношения между эффекторными импульсами, их ближайшими отражениями — силовыми моментами и более отдаленными функциями — усилиями и ускорениями и как много опознавательных признаков обнаружилось уже сейчас в этих разных формах связи для суждения о центрально-нервном происхождении и характере тех или иных импульсов. Сейчас важно оттенить другое: *структурные элементы динамики локомоторного акта, несомненно, можно расшифровать, читая по ним посредством более или менее сложной математической азбуки выявляющие себя через них центрально-нервные процессы.*

В 90-х годах минувшего века, в эпоху блестящего расцвета работ Marey, Braune и Fischer (см. очерк 1-й), в движении еще не надеялись увидеть так много. Marey увлекался преимущественно самим процессом регистрации, возможностью остановить летящее мгновение и рассмотреть в нем все то, что недоступно забывчивому невооруженному глазу. Braune и Fischer стремились, с одной стороны, исправить скопившиеся за предшествовавшие годы заблуждения и парализовать их предъявлением точнейшего объективного материала, с другой — ответить на некоторые вопросы из области теоретической механики движения, рассматривая ногу в аспекте рычага, маятника и прочих аксессуаров общей механики.

Необходимо указать вкратце, в чем состояли принципиальные сдвиги позиций нашей исследовательской группы по сравнению с позициями Braune и Fischer[1]. Мы резко повысили съемочную частоту (от 26 в секунду — частоты, которой пользовались Braune и Fischer, до 60—190 в секунду), во много раз увеличили количественно наш материал, упростили, механизировали и выверили обработочную методику. Все это дало нам возможность увидеть в движении несравненно больше деталей, чем это было доступно Braune и Fischer, и придать им большую степень достоверности как потому, что мы имели больше способов для выверки материала, так в особенности и потому, что мы располагали массовым материалом, в то время как Fischer вынужден был ограничиться тремя опытами на одном испытуемом. В тесной связи с этим определилась и коренная разница в наших с Fischer взглядах на вещи и в наших исходных положениях.

Во-первых, подход Fischer был, по существу, *ретроспективен,* т.е. в основном был связан с побуждением критически упорядочить накопившиеся уже к его времени основные сведения о механике акта ходьбы. Наш подход можно было бы назвать *проспективным,* так как мы, не заботясь особенно о том, что было правильным и что ложным в наблюдениях старых авторов, стремились дать наиболее надежную и подробную *описательную базу* для широкого последующего разворота исследований по генезу и патологии локомоций. Главная цель наших первых исследований по локомоциям состояла в том, чтобы обеспечить для

---

[1] См. об этом подробнее в "Исследованиях по биодинамике локомоций" под ред. Н.А. Бернштейна (М., 1935. Кн. 1. С. 30).

последующих работ как можно более обстоятельный *"эталон" средней нормы* локомоций для сравнения с ним всего того материала, который предстоит собрать в дальнейшем.

Во-вторых, Fischer интересовало в протекании ходьбы наиболее общее и основное. Недаром он пренебрегал подробностями, с легкостью относя ряд деталей своих снимков к числу погрешностей измерения[1]. Fischer a priori полагал, что акт ходьбы должен обладать высокой степенью математической простоты и динамической плавности. Поэтому, видимо, он и удовлетворялся своей крайне низкой съемочной частотой. Даже те немногие неровности кривых, которые смогли осесть на грубом сите применявшейся им частоты и которые оказались в результате наших исследований проявлениями важнейших биодинамических процессов, были сглажены Fischer от руки и объявлены им несуществующими.

В противоположность этому мы обратили самое пристальное внимание на эти подробности, которых на наших тонких высококачественных ситах оседало к тому же гораздо больше. Если Fischer заранее был уверен, что движение ходьбы есть нечто максимально гладкое и простое, то мы уже по одному тому, какой обширной синергией является ходьба, ожидали с самого начала встретить в ней процесс совершенно непредусмотримой заранее степени сложности, но, во всяком случае, несомненно, насыщенный живыми макро- и микроскопическими деталями не меньше, чем любая живая органическая ткань. Наши предположения в этом отношении оправдались в полной мере. "Биодинамическая ткань" живого движения — локомоции — оказалась наполненной огромным количеством закономерных и стойких деталей. На протяжении одного цикла движения — одного двойного шага — каждый из движущихся органов оказался проделывающим сложную мелодию из десятков динамических волн, регулярно и точно сменяющих друг друга. Среди них были волны огромные и мощные, например волны заднего и переднего толчков, которые были бы видимы и через слабый "телескоп" Фишера, если бы он не смахнул их с кривых вместе с пылью погрешностей, волны среднего размера и, наконец, мельчайшие объекты, находящиеся на самой границе разрешающей способности нашей сегодняшней техники. Переход между "звездами первой величины" и слабейшими объектами настолько постепенен, что, вне всякого сомнения, в локомоторном процессе есть еще множество подробностей, пока что невидимых для нас. Многое позволяет сейчас предполагать, что именно эти "ультрателескопические объекты", пока еще неуловимые детали биодинамической ткани, и окажутся в дальнейшем наиболее интересными.

Все эти обстоятельства определили и третью, важнейшую в принципиальном отношении особенность нашего подхода к изучению локомоций. Мы отказались от того, чтобы преждевременно теоретизировать наш объект, притягивая его насильно к тем или иным аналогиям из области общей механики. Мы восприняли локомоторный процесс как живой *морфологический объект* неисчерпаемой сложности и поставили своей задачей как можно точнее пронаблюдать и описать его.

Еще в 1928 г. я высказал в общей форме мысль о том, что движения живого организма могут быть рассматриваемы как морфологические объекты[2]. То что они

[1] Там же. С. 11.

[2] *Бернштейн Н.А.* Клинические пути современной биомеханики // Сб. тр. Казан. ин-та по усовершенствованию врачей. Казань, 1928. Т. 1.

не существуют целиком в каждый момент, а развертываются во времени, то что они включают в свое бытие координату времени несколько иным образом, нежели, например, анатомические органы и ткани, ни в какой мере не устраняет их из числа объектов морфологического круга изучения. Наоборот, мысль о том, что движение во многих отношениях подобно органу (существующему, как и анатомические органы, в координатной схеме x, y, z, t), представляется чрезвычайно плодотворной, особенно когда речь идет о таком стойком и всеобщем виде движения, как локомоция.

Два основных жизненных свойства, присущих движению живого объекта, ясно подтверждают его близкую аналогию с анатомическими органами или тканями. Во-первых, живое движение *реагирует,* во-вторых, оно закономерно *эволюционирует и инволюционирует*[1].

Первое из этих свойств я отметил и описал в 1924 г.[2] Изучая биодинамику движения при рубке зубилом, я имел возможность показать, что нельзя выборочно изменить в этом движении какую-нибудь одну деталь, не трогая остальных. Если, например, слегка изменить траекторию локтя, то сейчас же неминуемо изменяется и форма траектории молотка, и соотношения скоростей замаха и удара, и соотношения скоростей кисти и молотка, и еще ряд нюансов движения.

В последующие годы на материале ходьбы удалось установить, что реактивность движения очень избирательна. На изменение одной детали оно реагирует изменениями ряда других, иногда далеко отстоящих от первой в пространстве и во времени, и наряду с этим оставляет нетронутыми такие элементы, которые в норме лежат вплотную рядом с первично измененной деталью, почти сливаясь с ней. Таким образом, *движение не есть цепочка деталей, а структура, дифференцирующаяся на детали,* — структура целостная при наличии в то же время высокой дифференциации элементов и разнообразно-избирательных форм взаимоотношений между ними. Это оправдывает примененную мною выше образную характеристику живого движения, как биодинамической ткани.

Давно установлено второе свойство движения живого объекта — то, что оно развивается и инволюционирует. Оставалось, однако, очень малоизученным, как именно оно развивается, какие стадии при этом проходит и т.д. О важнейших результатах, полученных в этом направлении, будет упомянуто ниже.

2. Основные структурные слагающие локомоторного акта

Изложим в главных чертах основные биодинамические характеристики процесса ходьбы[3]. Они должны будут послужить главными опорными пунктами для дальнейшего анализа.

Движение ходьбы состоит для каждой ноги из чередования *опорного* и

---

[1] Реактивность живой двигательной структуры не может быть грубо механически сведена к реактивности живых органических тканей, участвующих в данном движении. Речь идет не о том, что движение есть особый субстрат, что было бы совершенно неверно, а о том, что те формы реагирования материальных субстратов движения, которые определяют собой протекание живого движения, обладают совершенно особыми качественными характеристиками.

[2] *Бернштейн Н.А.* Биодинамическая нормаль удара // Исследования Центр. ин-та труда. 1924. Т. 1, вып. 2.

[3] См. "Исследования по биодинамике локомоций". Гл. III.

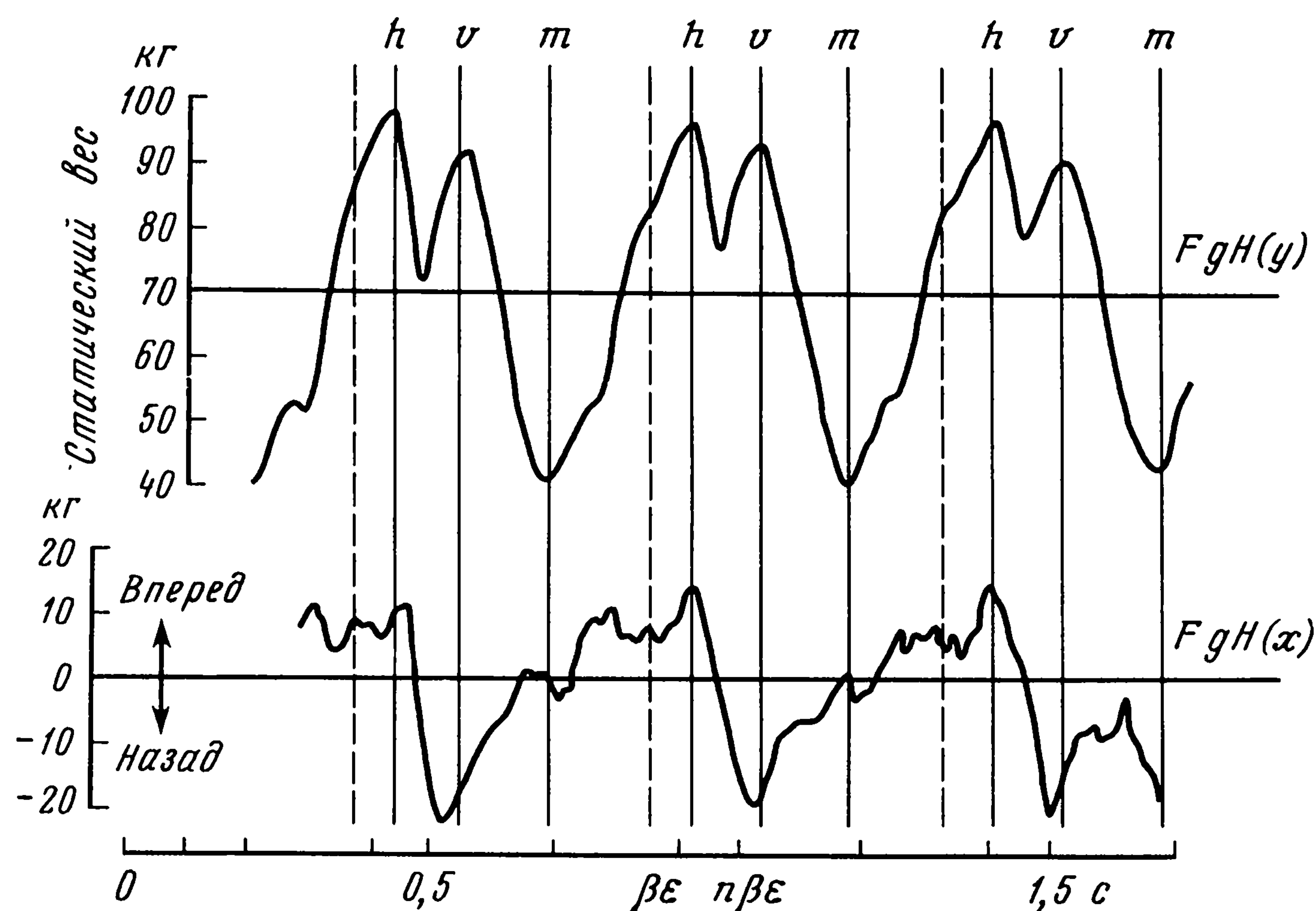


Рис. 42. Кривые усилия в общем центре тяжести тела при нормальной ходьбе
Наверху — вертикальная слагающая, внизу — продольная

переносного времени. Переносное время длится при ходьбе дольше, чем опорное (при беге дело обстоит как раз наоборот), поэтому существуют интервалы времени, когда одна нога еще не окончила своего опорного времени, а другая уже начала свое. Эти интервалы мы называем временами *двойной опоры.*

Динамика ног в их взаимодействии с опорной поверхностью находит исчерпывающее отражение в поведении центра тяжести всего тела. Действительно, усилия, испытываемые при ходьбе центром тяжести всего тела, равны по величине и противоположны по направлению тем усилиям, которые прилагаются к опорной поверхности опорной ногой или ногами. По принципу равенства действия и противодействия эти усилия ног, в свою очередь, равны и противоположны усилиям *опорных реакций,* т.е. силовым воздействиям опорной поверхности на тело идущего. Поэтому кривая динамических усилий в центре тяжести всего тела точно воспроизводит собой кривую протекания опорных реакций, т.е. кривую взаимодействия нижних конечностей с опорной поверхностью.

Графики динамических усилий в центре тяжести всего тела (рис. 42) относятся к числу препаратов, которые довольно легко могут быть получены из живого движения с помощью циклограмметрического метода. Эти графики содержат в себе ряд четких и безусловно постоянных элементов, свойственных всем исследуемым нормальным людям без исключения.

Вертикальная слагающая усилий в центре тяжести всего тела при ходьбе $F_{gH}(y)$[1] содержит в себе два обязательных высоких бугра *h* и *v,* которые мы назвали *задним и передним толчками* (*h* — Hinterstoss, *v* — Vorderstoss).

[1] Условные обозначения, применяемые в тексте.

Координаты: *x* — сагиттальная ("плюс" — вперед), *y* — вертикальная ("плюс" — вверх), *z* — трансверсальная ("плюс" — в сторону).

Пункты конечностей: *f* — тазобедренное сочленение, *s* — коленное, *p* — голеностопное, *φ* — какая-либо точка на оси бедра, *π* — на оси стопы.

Задний толчок дается в начале интервала двойной опоры ногой, находящейся сзади. Передний толчок дается близ конца того же интервала, на 100—200 мс позднее заднего, ногой, находящейся впереди. Таким образом, каждый интервал двойной опоры при ходьбе начинается задним толчком (одной ноги) и кончается передним толчком (другой ноги), опорное же время каждой данной ноги начинается ее передним толчком и кончается задним. Вся эта хронология лучше всего уясняется из рис. 43.

Незадолго до заднего толчка уходящая назад нога дает еще один вертикальный толчок крайне изменчивого размера — вспомогательный толчок h'. Середине времени одиночной опоры — тому мгновению, когда переносная стопа проносится мимо опорной, соответствует главный минимум m вертикальной слагающей $F_{gH}(y)$. В этот момент давление стопы на опору значительно ниже статического веса идущего человека, тогда как в мгновения обоих главных толчков h и υ оно намного выше веса.

Продольная слагающая усилий в центре тяжести всего тела $F_{gH}(x)$ (см. рис. 42) значительно менее постоянна сравнительно с вертикальной слагающей по своим формам, но не по содержащимся в ней динамическим элементам. Последние чередуются в ней всегда в строго постоянном порядке, варьируя только по размерам и нюансам ритмических соотношений. Наиболее значительным по амплитудам *прямой* (т.е. направленный вперед) толчок $\beta\varepsilon$, близкий по времени к заднему толчку h, и *попятный* (направленный назад) толчок $n\beta\varepsilon$, наступающий несколько ранее переднего толчка υ. Если рассматривать обе слагающие в их совокупности, т.е. воспринимать усилие в центре тяжести тела как вектор, то описанное чередование волн будет выглядеть так. Задний толчок есть вектор, направленный вверх и вперед и совершающий сразу вслед за своим максимумом (h) небольшое качание вперед ($\beta\varepsilon$). Передний толчок есть вектор, направленный вверх и назад ($n\beta\varepsilon$), отклоняющийся к моменту своего максимума (υ) слегка больше вперед.

Промежуточные стойкие элементы кривой продольной слагающей $\gamma\zeta$, $\delta\iota$, H, $\alpha\eta$ имеют огромное значение в координации движений ног и определяют собой все детали поведения каждой из них, но в своем отношении к движению центра тяжести всего тела не поддаются пока четкой характеристике. Волна $\alpha\eta$ близка по времени к вспомогательному толчку h'.

Кривые динамических усилий в центрах тяжести звеньев ноги и в центре тяжести всей ноги могут явиться представителями локомоторной структуры по одной стороне тела. В то время как кривые усилий в центре тяжести всего тела (F_{gH}) обладают периодичностью одиночного шага и отражают в себе в одинаковой мере динамику той и другой стороны тела (отсюда — двухбуквенные символы, присвоенные мною элементам продольной слагающей), кривые звеньев и систем ноги обладают периодичностью двойного шага. В качестве представителя ножных силовых кривых для настоящего краткого описания мы выберем силовой вектор в центре тяжести бедра F_{gH}, представленный на рис. 44 в виде кривых вертикальных $F_{gf}(y)$ и продольной $F_{gf}(x)$ слагающей. Этот вектор наиболее богат структурными

Центры тяжести: gc — головы, gf — бедра, gs — голени, gp — стопы, $g(fsp)$ — всей ноги, gH — общий центр тяжести всего тела человека.

Размерности: S — перемещения (линейные), V — скорости, W — ускорения, F — усилия, M — моменты сил.

Рис. 43. Схема чередования основных силовых толчков при нормальной ходьбе

Рис. 44. Кривые усилий в центре тяжести бедра при нормальной ходьбе
Наверху — вертикальная слагающая, внизу — продольная

деталями из всех векторов ноги, почему мы и останавливаем внимание именно на нем. Вектор бедра находится в особенно выгодных условиях для выявления на нем большого числа биодинамических структурных деталей по двум причинам. Во-первых, бедро расположено посередине между системой голень—стопа, с одной стороны, и туловищем — с другой, так что оно подвергается воздействиям сразу с обеих сторон, представляя собой арену столкновения реакции опоры с усилиями, исходящими из туловища и противоположной ноги. Во-вторых, его момент инерции относительно тазобедренного сочленения значительно меньше, нежели моменты

инерции относительного того же сочленения более удаленных от него звеньев — голени и стопы; поэтому бедро чувствительнее реагирует на все оттенки и переливы силовых импульсов, сообщаемых ноге тазобедренной мускулатурой.

Вертикальная слагающая усилий в центре тяжести бедра $F_{gf}(y)$ (см. рис. 44) содержит в себе чередования высоких групп бугров то с возвышенными плато опорного времени, то с глубокими долинами переносного времени. Группа бугров после переносного минимума содержит в себе бугры b_2, b_3, и b_4, если не считать маленькой нестойкой волны k_2 у самого дна главной долины h_1. Бугор b_2 совпадает по времени с вспомогательным толчком h' и, по-видимому, обусловлен именно им. Бугор b_3 есть отголосок заднего толчка h противоположной ноги, т.е. непосредственно предшествует началу опоры данной ноги. Бугор b_4, всегда значительно более низкий, чем оба предыдущих, есть эффект действия переднего толчка данной ноги. Мощная волна этого толчка передается транзитом через бедро, и бугорок b_4 есть частица этого толчка, по пути оседающая в самом бедре.

Опорное плато оканчивается малодифференцированной невысокой группой b_5 (иногда $b_5 - b'_5$), воспроизводящей толчки h' и h данной стороны тем же порядком, каким b_4 воспроизводит передний толчок. Затем следует высокая волна b_1 — отражение переднего толчка противоположной стороны, за которой наступает переносный минимум n_1.

Итак, вертикальная слагающая усилий $F_{gf}(y)$ содержит в себе высокие волны b_1, b_3 и b_4, соответствующие главным толчкам противоположной стороны, и низкие бугорки b_4 и b_5, соответствующие тем же толчкам своей стороны. Все эти элементы строго постоянны у всех нормальных взрослых субъектов и повторяются в том же составе в кривых усилий голени и всей ноги. Кроме этих силовых элементов, в кривой $F_{gf}(y)$, как и подобных ей кривых $F_{gs}(y)$ и $F_{g(fsp)}(y)$, ничего стойкого и характерного не обнаруживается.

Таким образом, вертикальная слагающая усилий ноги при ходьбе содержит в основном только элементы, отражающие борьбу движущегося организма как целого с силой тяжести: остаточные проявления своих опорных толчков и отражения толчков противоположной стороны. Это вполне соответствует тому, что было выше высказано в первом разделе очерка: проявления местной мышечной активности должны обнаруживаться при ходьбе главным образом в силовых кривых продольной слагающей, а на долю вертикальной достаются только очень далекие и обобщенные явления, непосредственно связанные с интегральной динамикой общего центра тяжести всего тела.

По всем этим причинам наиболее содержательными и насыщенными интересным для нас нейродинамическим материалом должны были оказаться *ножные кривые продольной слагающей*. И это ожидание оправдалось в полной мере. Напомним введенную нами для элементов продольной слагающей усилий номенклатуру.

Наиболее рельефные прямые (направленные вперед) — силовые волны кривой $F_{gf}(x)$ — мы обозначили первыми буквами греческого алфавита по порядку следования: α, β, γ, δ, ε, ζ. Попятным волнам мы присвоили символ n с добавлением индекса непосредственно предшествующей волны: например $n\varepsilon$ есть попятная волна, непосредственно следующая за прямой волной ε, и т.д.

Эту номенклатуру не удалось сохранить в таком простом и схематическом виде. Обнаружились новые, более мелкие волны, непредвиденные детали и т.д. Поэтому сейчас мы рассматриваем все упомянутые обозначения просто как собственные

имена и не решаемся искать в них большей рациональности, чем в географических или анатомических названиях.

Опорное время ноги (см. рис. 44) начинается с очень большой попятной волны $n\beta$. Эта волна имеет место непосредственно перед передним толчком данной ноги и представляет собой в основном тормозящий эффект удара стопы об опорную поверхность. В кривой усилий центра тяжести всего тела в этот момент протекает попятная волна $n\beta\varepsilon$.

На протяжении самого опорного времени происходит постепенный, ступенчатый подъем кривой $F_{gf}(x)$. Она дает большой зубец вблизи нулевого уровня γ (между $\upsilon!$ и $m!$)[1], прямую волну небольшой высоты δ, еще более высоко расположенную, но малорельефную область η (вблизи h') и, наконец, к моменту заднего толчка своей стороны достигает наиболее высокой прямой вершины ε.

Постепенный зубчатый подъем γ—δ—η соответствует неуклонному, все более и более быстрому нарастанию продольной скорости бедра, особенно его коленного конца, т.е. отражает собой нарастающую активность отталкивания опорной ноги от земли. Волна ε, последняя и решающая прямая вершина кривой $F_{gf}(x)$, занимающая такое же доминирующее положение и в кривых голени и стопы, наступает перед самым отрывом опорной стопы от земли, а после нее прямые усилия сразу и резко падают. Начиная с этого пункта, т.е. с начала переносного времени, усилия в бедре протекают количественно иначе, чем в центре тяжести всей ноги и в ее нижних звеньях, но тем не менее в них остаются отраженными те же самые общие для всех движущихся органов структурные элементы, только они располагаются иначе по отношению к оси абсцисс (рис. 45).

Следующий за ε прямой элемент кривой $F_{gf}(x)$ есть зубчатая многовершинная область ζ, располагающаяся между передним толчком υ и минимумом m противоположной ноги. В кривой центра тяжести всей ноги эта область находится несколько выше уровня нуля (в *прямых* значениях), в кривой же бедра она лежит ниже нуля (*в попятных* значениях). В кривой $F_{gf}(x)$ ей предшествует попятная волна $n\varepsilon$, завершает ее другая попятная волна $n\zeta$. Причины различий в расположении области ζ у разных кривых будут показаны ниже. Сейчас следует только сказать, что попятные волны $n\varepsilon$ и $n\zeta$ выражают собой начинающееся здесь притормаживание прямого движения бедра (и коленного сочленения), сопровождающееся нарастанием продольной скорости стопы и голени. Мышечные моменты в тазобедренном и коленном сочленениях на протяжении области разгибательны (см. ниже рис. 51), так что притормаживание бедра возникает здесь *реактивно* в порядке периферической игры сил.

Следом за $n\zeta$ в кривой $F_{gf}(x)$ возвышается компактная и высокая группа волн, вершину которой составляет волна α. Эта прямая волна существует только в бедре. В голени и стопе на этом месте попятная волна $n\alpha$. Попятные волны имеются в этот момент и в кривых силовых моментов тазобедренного сочленения и колена (см. ниже рис. 51). Таким образом, волна α бедра имеет не мышечное происхождение, а возникает реактивно на периферии, как и ранее упомянутое торможение бедра в области ζ. Волна α и ее функциональная пара $n\alpha$ близко совпадают по времени с вспомогательным толчком противоположной ноги h.

---

[1]Восклицательным знаком мы обозначаем главные силовые толчки своей (ипселатеральной) стороны тела.

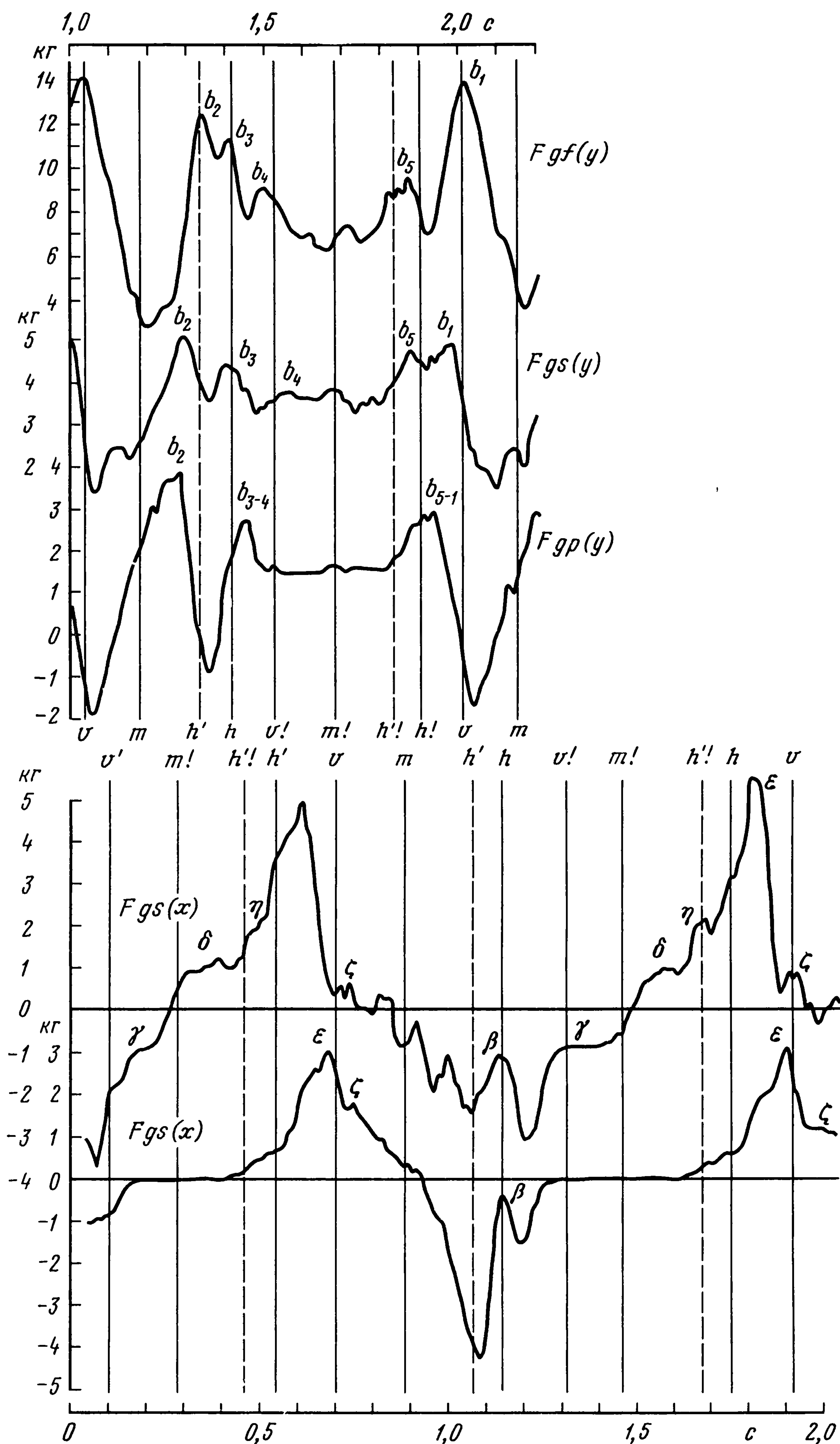


Рис. 45. Кривые усилий в центрах тяжести звеньев ноги при нормальной ходьбе

Вверху — вертикальные слагающие для бедра, голени и стопы; внизу — продольные слагающие для голени и стопы

Почти сливаясь с α, в кривой бедра наступает следом острый бугорок β (фаза *h* противоположной ноги), в котором, однако, все признаки изобличают совершенно иное происхождение, нежели у α. Во-первых, этот бугорок имеется в виде прямого бугорка во всех ножных кривых, тогда как от α в кривых голени и стопы нет и следа. Во-вторых, как будет показано ниже, вся история развития этого бугорка β в корне иная, чем у α. Таким образом, он образует со своей соседкой уже не функциональную, а только "оптическую пару".

Таков в самом общем очерке скелет силовой структуры продольных усилий при нормальной взрослой ходьбе. Мы выводим из приведенного перечня то первоначальное следствие, что силовые импульсы, обусловливающие движения ноги при ходьбе, отнюдь не ограничиваются одной парой простых реципрокных импульсов (одним прямым и одним попятным) на каждый двойной шаг. Такими реципрокными импульсами могли бы быть, например, ε и *n*β, наступающие в обеих ногах почти одновременно и идущие во взаимно противоположных направлениях. Фактический материал показывает, что дело отнюдь не исчерпывается этой простейшей парой. Множество элементов, совершенно закономерно сменяющих друг друга и создающих сложный и прихотливый ритм чередования, придает мышечной динамике каждого последовательного шага в корне иную физиономию, нежели та, которой обладает простейший "stepping" спинномозгового препарата. Все эти элементы чрезвычайно постоянны и всеобщи, они имеют место в той же неизменной последовательности во всех продольных силовых кривых всех звеньев ног и частей туловища при нормальной ходьбе, сохраняют эту же неизменную структуру у всех нормальных исследуемых и остаются в основном теми же и в ряде патологических случаев.

Более того, эти же структурные элементы в той же самой последовательности сохраняются и при такой качественно отличной от ходьбы форме локомоции, как *бег,* и нужны очень тяжелые периферические нарушения вроде ампутаций, чтобы они утратились в заметной мере. Все это показывает, что описываемые структурные элементы мышечной деятельности при локомоции отнюдь не случайны, что они должны иметь существенное координационное значение для локомоторного акта и что, по всей видимости, они должны в соответствии с этим иметь и свой длительный генез, историю, центрально-нервное или иное обоснование. Подтверждение всех этих предположений составляет основу материала, собранного в наших исследовательских работах[1]. В следующем разделе мы рассмотрим относящиеся сюда факты.

3. Генезис биодинамической структуры локомоторного акта

Первое, что показало нам изучение онтогенеза ходьбы и бега у ребенка, было то, что *биодинамические структуры живут и развиваются.*

Всех тех многочисленных элементов, которые были бегло перечислены в предыдущем разделе и которым была там приписана неоспоримая роль в координационном оформлении акта локомоций, — всех этих элементов у недавно начавшего самостоятельно ходить ребенка еще нет[2]. В первые дни самостоятельной

---

[1] Этот материал опубликован в книгах "Исследования по биодинамике локомоций" (1935) и "Исследования по биодинамике ходьбы, бега, прыжка" (1940).

[2] Анализ развития детской ходьбы и бега проведен в наших лабораториях Т.С. Поповой.

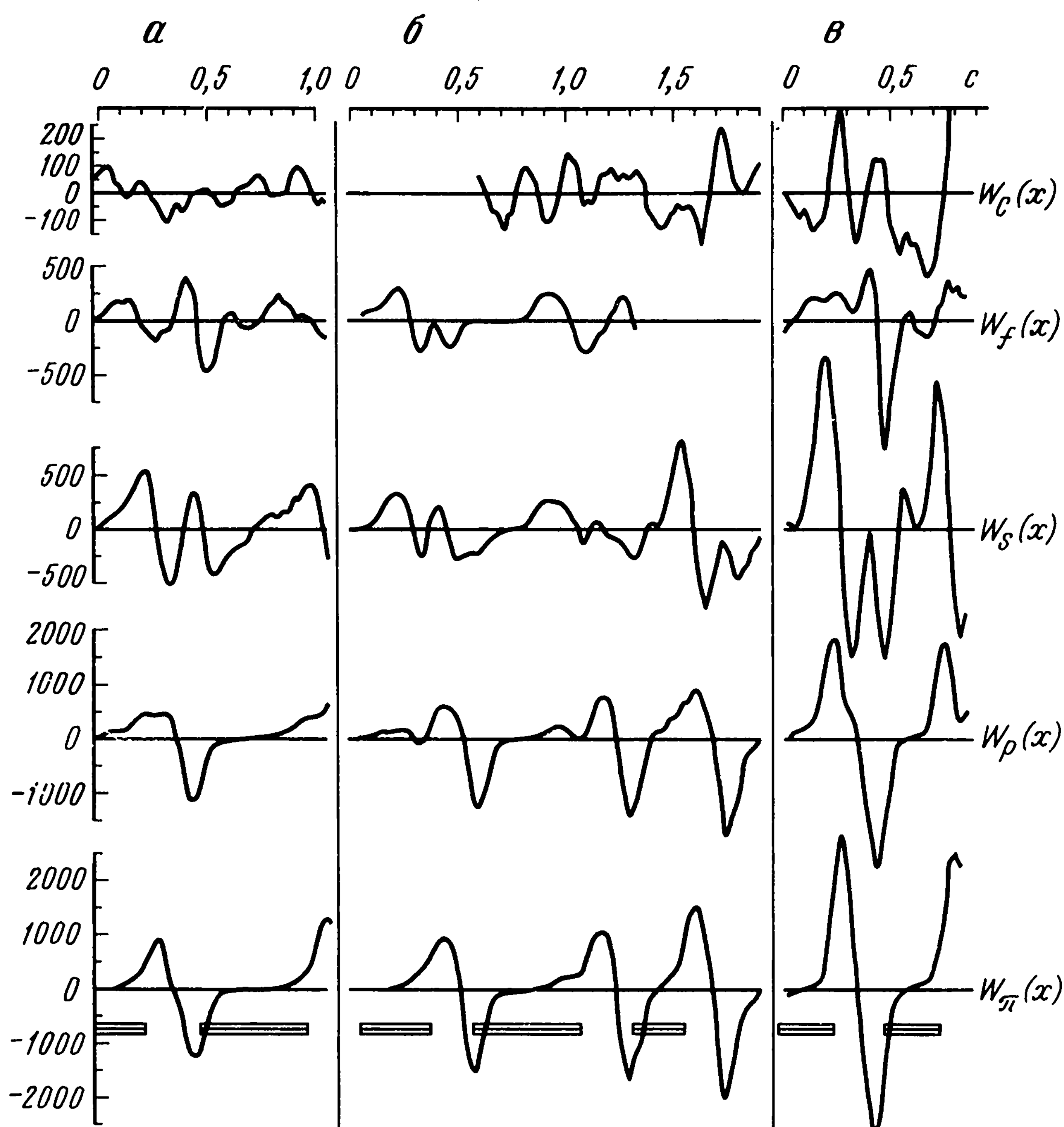


Рис. 46. Кривые продольных ускорений пунктов тела у трех детей на втором году жизни
Сверху вниз: голова, сочленения — тазобедренное, коленное и голеностопное, кончик стопы. Полоска внизу чертежа — опорное время данной ноги (Т. Попова, 1937 г.)

ходьбы в продольных ускорениях ребенка налицо только прямая волна ε, в кривых стопы — попятная волна *п*α, сопровождаемая своей функциональной парой α в бедре, и еще область ζ в ускорениях голеностопного сочленения, глубоко и принципиально отличная от "взрослой" ζ. Никаких следов β, γ, δ, η, θ, ι. Эта картина сохраняется в течение всего 1-го года ходьбы, т.е. примерно 2-го года жизни.

Говоря иными словами, весь мышечно-динамический инвентарь ребенка в первые месяцы развития его ходьбы исчерпывается одной только парой мышечных самостоятельных импульсов ε и *п*α[1] — той самой простейшей реципрокной парой, о которой говорилось в предыдущем разделе и которая, как это и подразумевалось физиологами начала нашего века, должна была исчерпывать собой всю мышечную динамику ходьбы и во взрослом состоянии. Остальные две волны, наблюдаемые в этой ранней стадии онтогенеза, имеют в основном периферическое происхождение. Это чисто реактивно-механическая α, возникающая в бедре как отдача от активного мышечного усилия *п*α, и столь же реактивная пара ζ — *п*ε. Импульсы ε и *п*α развились

[1] Не *п*β, так как β еще не существует.

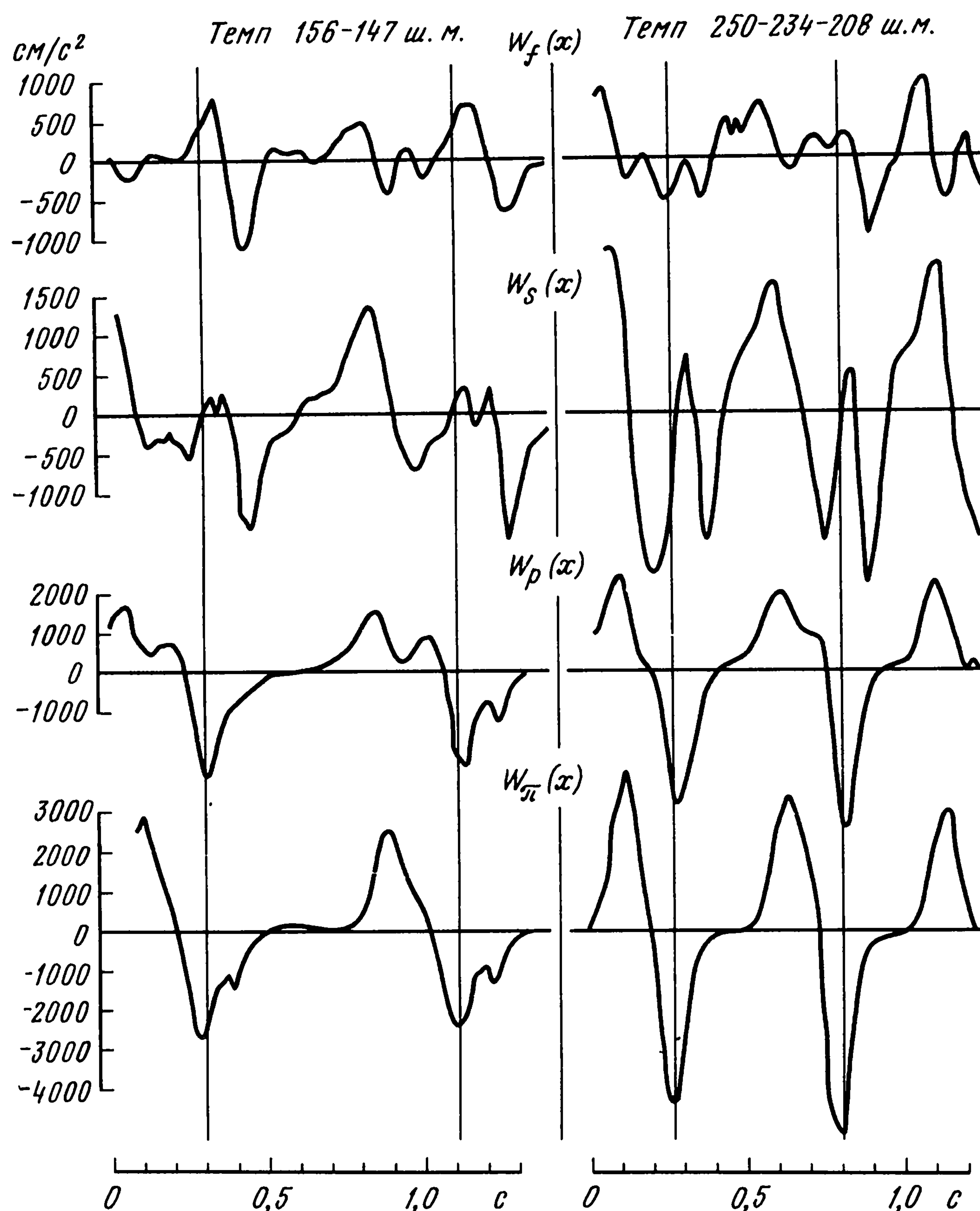


Рис. 47. Продольные ускорения пунктов ноги ребенка 2 лет при среднем и быстром темпе (Т.С. Попова, 1937 г.)

первыми, и, кроме них, первоначально нет ничего. Я назвал бы этот уровень развития стадией *иннервационного примитива* (рис. 46).

Следующие элементы биодинамических кривых развиваются значительно позже. В возрасте 2 лет имеются, кроме упомянутых выше, еще волны γ и η в бедре и признаки начинающегося развития β в колене и голеностопном сочленении. Эти новые элементы еще не стойки и, например, при увеличении темпа имеют тенденцию пропадать (рис. 47). Полный инвентарь динамических волн развивается очень медленно, заполняясь окончательно только к пятилетнему возрасту. Очень постепенно одельные элементы переходят из группы непостоянных, встречающихся не в каждом шаге (γ), в группу постоянных для медленного темпа и, наконец, в группу безусловно постоянных. Медленно совершается и развитие взрослых форм структурных элементов. Например, еще к 4 годам "детская" ζ не вполне уступает свое место взрослой.

Все это свидетельствует прежде всего о том, что постепенное появление и закрепление новых структурных элементов не стоит ни в какой связи с выработкой

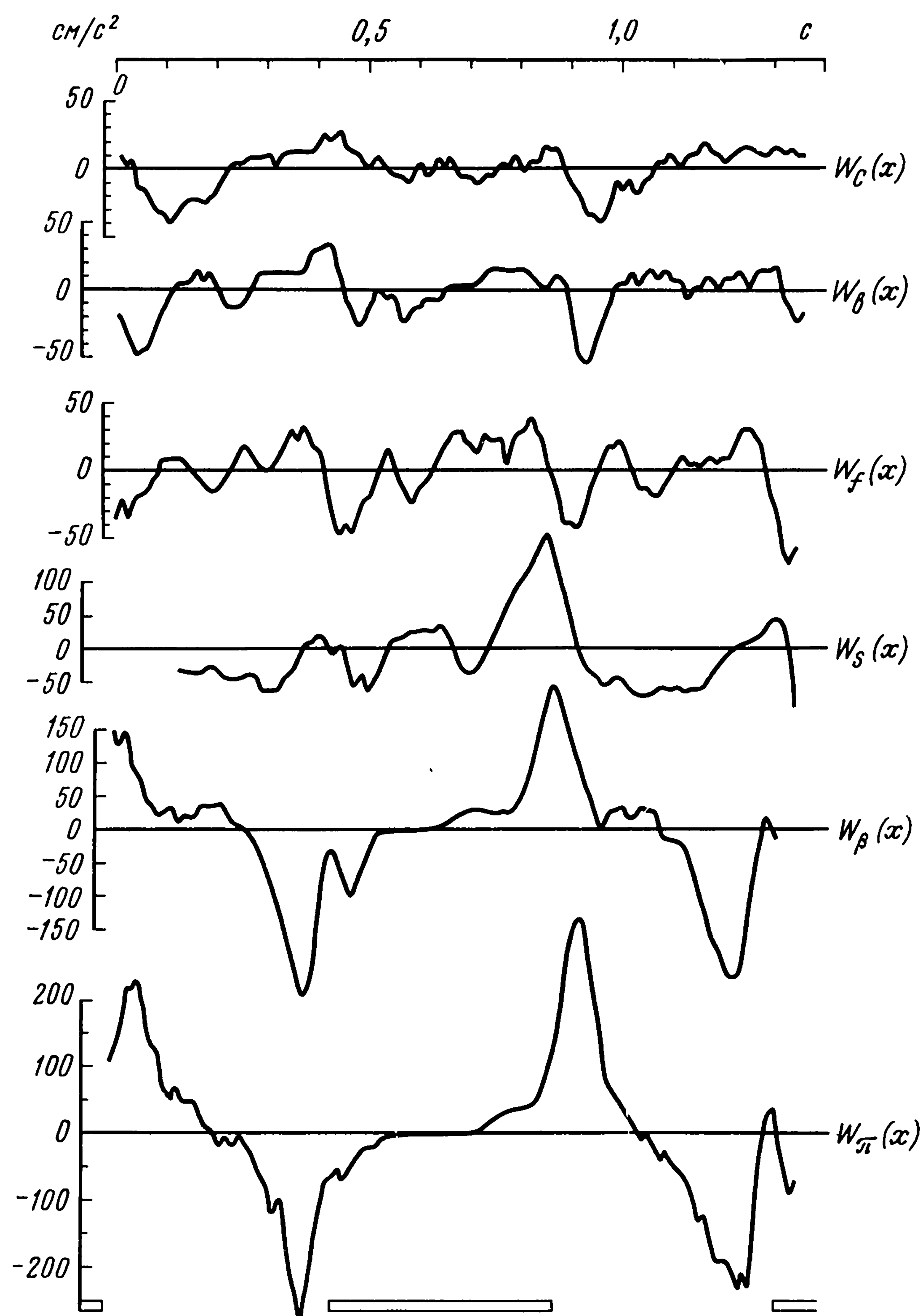


Рис. 48. Кривые продольных ускорений головы, плеча и пунктов ноги, перечисленных при рис. 46 и 47, у ребенка 6 лет (Т.С. Попова, 1937 г.)

элементарной координации и равновесия при ходьбе. В 3—4 года ребенок не только давно уже ходит безукоризненно, но и бегает, и прыгает на одной ноге, катается на трехколесном велосипеде и т.д. Это значит, что механизмы координации всяческих локомоторных движений и сохранения равновесия выработаны у него к этому времени давно и прочно, а между тем инвентарь его динамических импульсов обыкновенной ходьбы еще далеко не полон. Несколько ниже мы увидим, что нервные механизмы элементарной координации и соблюдения равновесия просвечивают в кривых ребенка совсем другим образом. Те же основные структурные элементы, о которых сейчас идет речь, имеют, очевидно. иное значение и связаны с более тонкими деталями двигательной координации.

Развитие структурных элементов ходьбы совершается отнюдь не по кратчайшему

пути. Наоборот, по ходу онтогенеза в кривых ребенка возникает ряд избыточных элементов, не свойственных взрослому и подвергающихся обратному развитию в отроческом возрасте. По вертикальной слагающей такие детские элементы появляются очень рано: уже на первом году самостоятельной ходьбы, когда из всего взрослого вертикального инвентаря у ребенка имеются только b_1 и b_3, у него уже появляются, чередуясь с ними, "детские" волны k_1 и k_2. Вторая из этих волн, может быть, уцелевает и до взрослого состояния в виде ступеньки k у подножия волны b_2, хотя гомология обоих этих образований еще строго не доказана: k_1 исчезает бесследно после 8-летнего возраста, всплывая вновь только у ампутированных и в трансверсальной слагающей усилий $F(z)$. Детская механически-реактивная волна ζ стопы возникает, как мы видели, очень рано и держится в течение всего первого года ходьбы. Затем она выпадает, как молочный зуб. Взрослая же иннервационно-реактивная форма ζ развивается на ее месте только в 4—5-летнем возрасте.

Особенно интенсивное перепроизводство структурных деталей приходится на возрастной период от 5 до 8 лет. Здесь всплывают и принимают зачастую очень большие размеры всевозможные θ, η, и ι. Вертикальные детские толчки k_1 и k_2 достигают тоже значительной величины, как будто еще подкрепляя синхронные с ними детали γ и ι (рис. 48). Весь этот переизбыток уже энергично инволюционирует между 8 и 10 годами, но и к 10 годам процесс оформления взрослой структуры все еще не вполне заканчивается.

По ходу развития биодинамической структуры ходьбы совершаются постепенно качественные сдвиги и другого рода, проливающие свет на постепенное овладение механизмами координации и равновесия. В самые первые дни самостоятельной ходьбы вертикальная слагающая *усилий* в центре тяжести головы ребенка выглядит уже вполне упорядоченной и одинаковой от шага к шагу, хотя и примитивной; в ней есть только волны b_1 и b_3. В то же время *движения* головы — кривые $S_{gc}(y)$ — крайне хаотичны, неравномерны и спутаны. К двухлетнему возрасту кривая вертикальных *усилий* головы постепенно обогащается новыми волнами и в совершенно явной связи с этим кривая *движения* $S_{gc}(y)$ становится все стабильнее и проще. С этим стоит сопоставить еще то, что у разных детей наблюдается гораздо меньше интервариативности в кривых усилий и ускорений головы, нежели в очень пестрых и индивидуальных кривых ее перемещений.

Объяснение этим явлениям приходит сразу из тех основных положений о построении движения, которые были конспективно изложены выше. Заданная кривая изменения мышечных усилий (следовательно, в простейших случаях и ускорений) не может сама по себе однозначно определить результирующего движения, так как в дело вмешиваются еще независимые параметры интеграции[1].

Влияние этих независимых параметров сигнализируется нормально развитой центральной нервной системе проприоцептивным аппаратом, и эта сигнализация побуждает двигательные органы центральной нервной системы к приспособительным видоизменениям их эффекторных импульсов. Если проприоцептивная сигнализация нарушена, как это случается, например, при классическом tabes dorsalis, то в результате и получаются очень правильные и сходные между собой последовательные циклы *усилий F и ускорений W* при совершенно разрушенных и

[1] Математической, а не физиологической.

непохожих друг на друга циклах *движений S.* Мы имеем в нашем материале по tabes очень яркие примеры этого рода (см. рис. 34 и 35). Отсюда следует вывести, как общий и принципиальный симптом поражения проприоцептивной сигнализации (проприоцептивной атаксии), *нарушение в последовательных циклах постоянства S при сохранности* (иногда даже подчеркнутости) *постоянства F и W.*

У маленького ребенка мы имеем дело, конечно, не с поражением проприоцептивной сигнализации, а лишь с медленным и постепенным возникновением механизмов правильного реагирования на эту сигнализацию. Там, где эти механизмы еще не выработаны, там и имеет место упомянутый атактический симптом: правильность *W* при хаосе *S*. В этой стадии онтогенеза, следовательно, спонтанные эффекторные импульсы уже развиты (*W* в порядке), а реактивно-иннервационные еще не работают как следует (ср. рис. 34 с рис. 49).

В детской локомоторике прослеживается ряд явлений этого рода, вначале грубых, а позднее все более и более тонких. У детей, только что начинающих ходить, как правило, нет еще постоянного соответствия между динамической фазой и позой тела. Их позы, приходящиеся в последовательных шагах на фазу одной и той же силовой волны, совершенно неодинаковы. У взрослых в противоположность этому имеет место необычайно чеканная повторяемость позы в одноименные динамические мгновения. Более того, для некоторых динамических волн, например ζ, связь позы с фазой оказывается исключительно прочной и не нарушается даже при очень глубоких изменениях походки. Отсутствие подобного соответствия у маленьких детей говорит, конечно, о том же, о чем свидетельствуют и хаотические формы кривых *S*: об отсутствии правильного реагирования на проприоцепторику.

В более позднем детском возрасте, когда самые элементарные механизмы локомоторной координации уже освоены, все тот же симптом недостаточного овладения проприосигнализацией всплывает уже в более тонком и отчасти обращенном виде. Дело касается все той же волны ζ — судя по всему, одной из наиболее сложных и загадочных координационных волн. Т.С. Попова (1940) обнаружила, что высота волны ζ у детей в возрасте от 1,5 до 3 лет очень тесно связана с длиной шага и что, по-видимому, недостаточно полно удавшиеся в том или отдельном шаге главные импульсы ε компенсируются для достижения правильной длины шага переразвитием в этом шаге волны ζ. В некоторых случаях ζ при этом далеко перерастает основной импульс ε и в походках такого типа оказывается волной, наиболее варьирующей по величине от шага к шагу. Это наблюдение вскрывает все ту же связь между проприоцепторикой и эффекторикой, но уже в новом плане: из-за несовершенства моторики, еще не справляющейся с точной дозировкой импульса (недоразвиты вспомогательные волны δ и η!), при постоянной величине ζ получаются неодинаковые шаги, а для одинаковых шагов требуется варьирующая ζ. Во взрослой норме и ζ устойчива по величине, и шаги постоянны по длине. Это значит, что еще *до завершения* главного импульса ε на основе проприосигнализации совершается точная дозировка прямых продольных усилий, необходимых для выполнения устойчивой метрики шага. У ребенка такая предварительная дозировка еще не выработана, и он прибегает к последовательной компенсации, включаемой по окончании импульса ε. Его проприоцептивная деятельность еще недостаточна для метрического *планирования* движения, но уже способна (в отличие от самой ранней стадии) к внесению метрических *коррективов.*

Эволюция локомоторного акта охватывает все детство, продолжаясь почти до

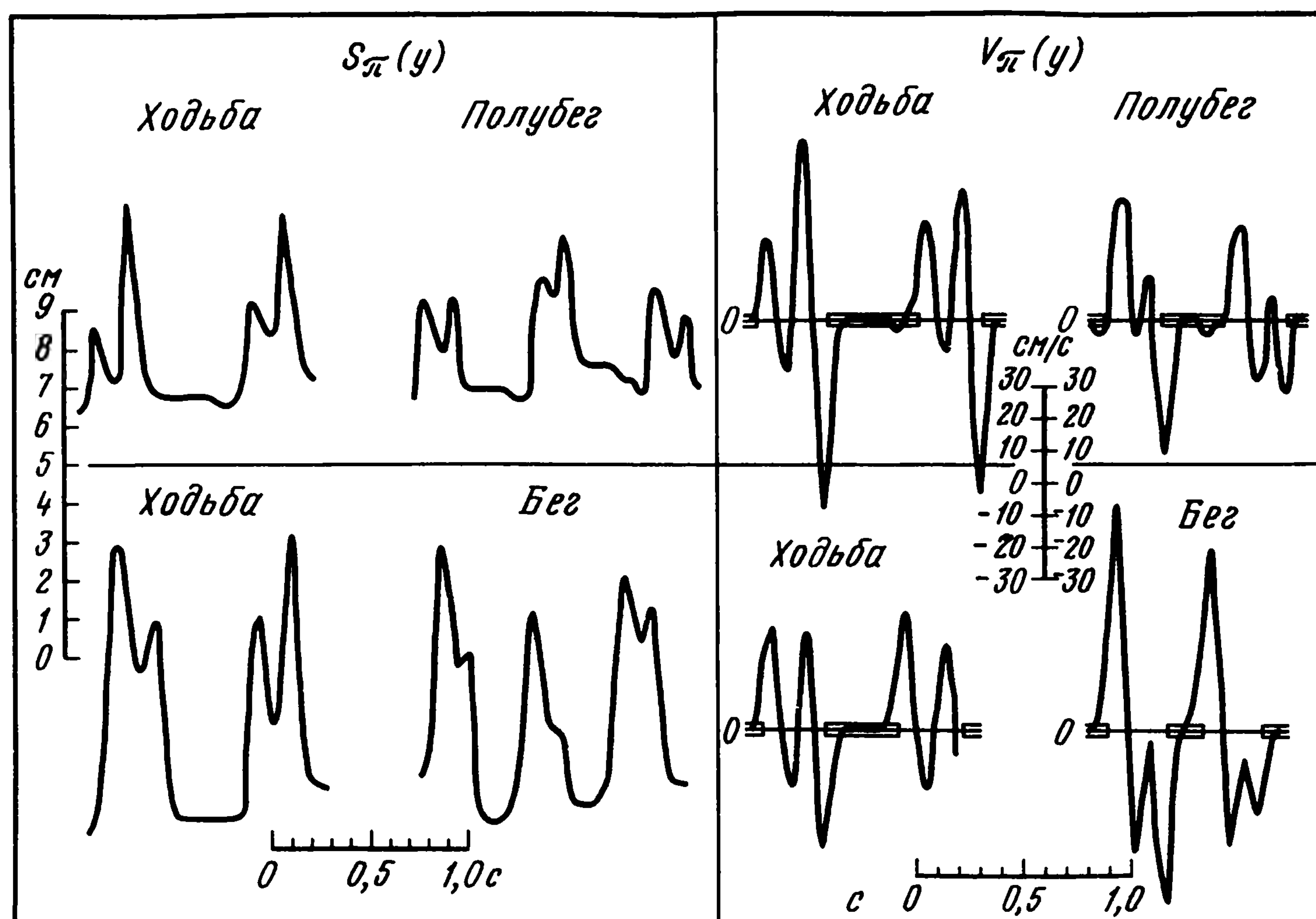


Рис. 49. Слева — вертикальные перемещения, справа — вертикальные слагающие скорости кончика стопы у двух детей 1 года 9 месяцев при ходьбе и полубеге (Т.С. Попова, 1937 г.)

начала полового созревания. Последнее, что ей приходится проделать, что начинает намечаться лишь после 5 лет и завершается только после 10 лет, — это превращение бесформенного набора биодинамических элементов в оформленную структуру. Все структурные элементы ходьбы вызревают в основном уже к 5-летнему возрасту и, как уже сказано, обрастают в последующие несколько лет еще целыми гроздьями избыточных, детских бугров и бугорков. В начале этой стадии развития все зубцы кривой (взрослые и "молочные") размещены уже в правильном последовательном порядке, но совокупность их еще не приняла характерной для взрослой кривой *формы*. Форма эта выявляется окончательно тогда, когда между элементами кривой устанавливаются правильные и устойчивые пропорции, когда мелкие, полутоновые элементы сглаживаются и стушевываются, а крупные выдвигаются на руководящие позиции. Тогда только завершается последний, наивысший этап развития координации: движения (S) оказываются правильными и эвметричными. При этом кривые и усилий (F), и ускорений (W) не нуждаются уже в создании компенсационных неровностей (так сказать, в проприоцепторике post factum) и могут обеспечить единство движения, не теряя при этом единства своей формы (посредством проприоцепторики ante factum).

Картина развития *детского бега* очень сходна с этим. Мне удалось показать, что бег взрослого как *нейродинамическая структура* обладает многими признаками неоспоримого родства с ходьбой. Это родство выявляется очень отчетливо при углубленном анализе бега и стоит в резком контрасте с тем, что бег как *биомеханическая структура* во многом прямо противоположен ходьбе. В связи с тем, что бег и ходьба почти противоположным образом решают механическую задачу перемещения тела в пространстве, ряд особенностей построения иннервационного процесса претерпевает при беге существенные изменения по сравнению с

ходьбой при бесспорно общем происхождении и генезе обоих в нервной системе. Эту общность происхождения удается проследить и доказать точнее всего путем анализа эволюции бега у детей, где ясно усматривается и общее происхождение обеих локомоторных структур, и постепенный ход их биомеханической и нейродинамической *дивергенции.*

В самых ранних фазах развития локомоций (на 2-м году жизни) еще невозможно указать четких различий между ходьбой и бегом ребенка. Его "бег" совершенно лишен наиболее характерного признака настоящего бега — интервала *полета* — и отличается от ходьбы только очень немногим. Лишь несколько динамических элементов, похожих на беговые, появляются в проксимальных точках ноги, тогда как дистальные точки дают еще картину, ничем не отличающуюся от картины, свойственной ходьбе. Все эти изменения сосредоточиваются в *опорном времени,* перестройка которого и занимает собой весь первый этап дивергенции.

Очень постепенно, на протяжении 2-го и 3-го года жизни, параллельно с обогащением новыми элементами кривых ходьбы совершаются и дивергирующие сдвиги в кривых бега. Сближаются по времени сравнительно с ходьбой того же ребенка передний и задний толчки опорной ноги (*C* и *D*). Продольные силовые волны γ и δ перерастают древнюю первичную волну ε, которая редуцируется в беговых кривых и перемещается из опорной группы γ—δ—η в переносную группу ζ—α; появляются и первые зачатки *полета.* Заслуживает внимания, что кривые вертикальной динамической слагающей дивергируют раньше, нежели кривые продольной слагающей. Если вспомнить, что первые особенно тесно связаны с интегральной динамикой организма и с его биомеханической деятельностью по борьбе с силой тяжести, тогда как вторые отражают в себе по преимуществу внутреннюю, интимную структуру силовых импульсов данной конечности, то это явление можно попытаться объяснить. Как мне кажется, запаздывание дивергенции продольных кривых по сравнению с вертикальными говорит о том, что перестройка движения начинается с его биомеханики, т.е. *с периферической части* процесса (перестройка опорного интервала, организация фазы полета и т.д.). Эта биомеханическая перестройка ставит перед центральной нервной системой новые задачи, к которым последняя постепенно и приспособляется, отражая это приспособление во вторично возникающих изменениях продольных динамических кривых. Этот вторичный характер *центральной дивергенции* оттеняется очень выпукло и еще одним явлением, о котором будет сказано несколько позже, а именно уменьшением продольных силовых амплитуд по мере возрастного качественного развития бега.

Если в первой стадии развития бега надо было еще тщательно искать отличий его от ходьбы, то в последующей стадии (от 2 до 5 лет) основные свойства бега выступают уже совершенно бесспорно. В этом возрастном отрезке начинается уже организация *переносного времени* бега (сперва второй половины переноса, позднее — первой). Именно в переносе появляются в этой стадии развития динамические новшества, и любопытным образом преобладающее большинство их возникает в *проксимальных точках* нижней конечности, тогда как дистальные точки еще долго не проявляют заметных признаков дивергенции. От 2 до 5 лет продольные кривые бедра обнаруживают уже в полном разгаре беговую перестройку переносного времени, а кривые стопы еще не отдифференцировались от ходьбы даже в опорном интервале.

Этот преобладающий ход эволюции и дивергенции сверху вниз, от проксимальных точек к дистальным, приводит к интересному физиологическому обобщению. Крайне мало вероятно, чтобы и в самом деле нервная динамика дистальной мускулатуры отставала так резко (на целые годы) от динамики проксимальных мышц. Значительно вероятнее здесь другое объяснение. Проксимальные точки ноги (например, тазобедренное сочленение) окружены значительно более мощными массивами мышц, нежели дистальные точки (стопа), и в то же время моменты инерции ближайших к первым частей звена несравненно меньше, чем моменты инерции дистальных звеньев. Поэтому мышцам тазобедренной группы гораздо легче сдвинуть с места верхние отрезки бедра, чем стопу, для смещения которой им приходится привести в движение всю инертную ногу сверху донизу. С этим же связано еще и то, что (относительные) скорости дистальных звеньев, как правило, выше, чем проксимальных. Следовательно, и кинетические энергии у первых больше, и преодолеть их труднее. Дистальные звенья играют по отношению ко всей ноге роль, напоминающую роль тяжелого маховика.

Отсюда следует, что нервному эффекторному импульсу при данной его силе несравненно легче проскочить в проксимальную кривую и отразиться в ней в виде заметной динамической волны, нежели суметь пробить всю толщу инерционного сопротивления дистальной системы. Для того чтобы ощутиться в последней, эффекторный импульс должен или обладать значительной силой, или же попасть "вовремя" — в такой момент, когда дистальная система находится в особенно выгодных условиях для его восприятия.

В чем может выражаться этот благоприятный момент, еще сказать трудно, и здесь, видимо, открывается большое поле для исследования. Может быть, здесь имеет значение просто выгодная поза конечности, обеспечивающая мышцам наибольшую биомеханическую эффективность действия; может быть, этот благоприятный момент есть переломный момент скорости, когда инерционные сопротивления всего слабее ощутимы; может быть, наконец, это есть момент особо восприимчивой настройки мышечного аппарата, создаваемой здесь тем или иным стечением проприоцептических сигналов (это последнее предположение можно рассчитывать успешно проверить электрофизиологическим путем).

Так или иначе, управление дистальными звеньями требует большой ловкости, более высокой координационной техники в смысле умения улучить подходящий, оптимальный момент, дать как раз нужный импульс как раз в нужное время. Если это время упустить хотя на очень малую долю секунды (не надо забывать, что все процессы при беге измеряются сотыми и тысячными долями секунды), то импульс уже "не пройдет", т.е. не даст никакого заметного эффекта на периферии.

Надо отметить, что речь здесь идет не о мелких координированных движениях дистальных отрезков конечности. Динамика этих последних зависит в конечном счете от тех же самых тазобедренных мышц, что и динамика проксимальных точек ноги.

Но дистальная динамика становится богато расчлененной на биодинамические детали не тогда, когда эти детали появляются в эффекторном импульсе и начинают отражаться в динамике податливых проксимальных точек, а только тогда, когда устанавливается *функциональная сонастроенность эффекторики и рецепторики* и когда эффекторная нервная система научается улавливать мимолетные моменты функциональной проводимости.

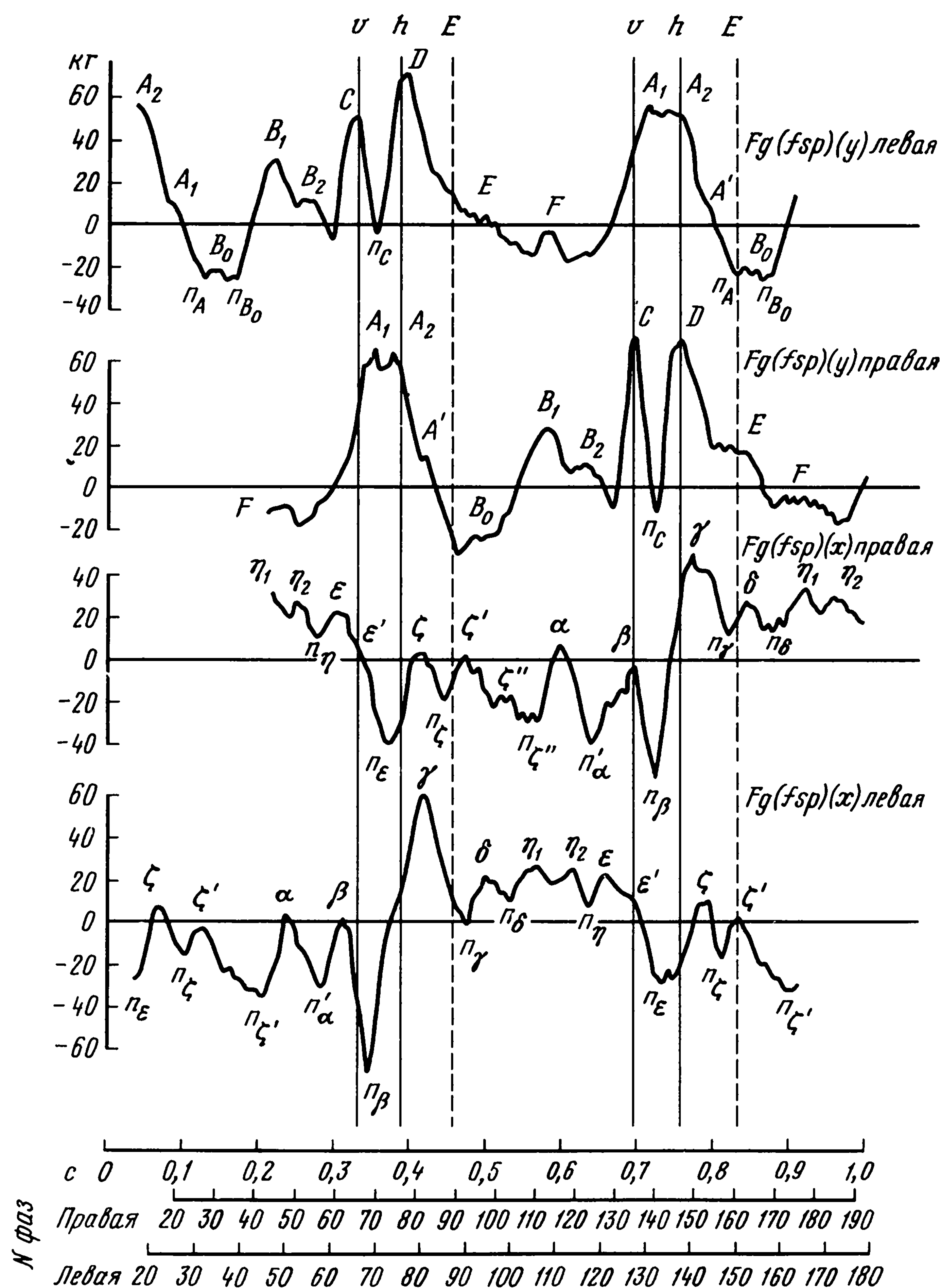


Рис. 50. Вертикальные и продольные слагающие усилий в центрах тяжести той и другой ноги при беге мирового рекордсмена-средневика Ж. Лядумега (работа автора, 1934—1937 гг.)

Верность этого объяснения хорошо иллюстрируется наблюдениями над всемирно известным мастером бега Лядумегом. Именно у него динамические кривые дистальных звеньев достигают наибольшей расчлененности, далеко превосходящей расчлененность соответственных кривых других мастеров, и именно у него эта расчлененность сопровождается особенно большим богатством силовых "переливов" в дистальных звеньях, свидетельствующим об очень тонком управлении динамикой внешнего, биомеханического порядка (рис. 50). В сложном многозвенном маятнике, каким в биомеханическом смысле является нога, динамические взаимодействия звеньев, игра реактивных сил, сложные колебательные цепочки и т.д. очень разнообразны и обильны. И то, что все они не стушевываются у большого мастера, а в таком изобилии находят свое отражение в динамических кривых,

говорит об очень тонкой реактивной приспособляемости нервно-двигательного аппарата Лядумега к проприоцептивной сигнализации. Эта-то приспособляемость и позволяет ему осуществить такое тонкое расчленение активной динамики дистальных звеньев. И у него оно сопровождается заметной количественной экономией усилий.

В пользу этого же объяснения свидетельствует и наблюдение, сделанное Т.С. Поповой. При одной и той же скорости бега у разных детей у тех из них, кто к этому времени обладает более расчлененной биодинамикой, как правило, отмечаются и меньшие амплитуды ускорений, т.е., иными словами, меньшие размахи динамических усилий. Для того чтобы дать тот же конечный результат, ребенку с менее дифференцированной качественной картиной динамики бега приходится затрачивать бо́льшие усилия. Это может значить только одно: более высокая степень расчлененности дистальных силовых кривых есть признак умения ловить моменты наименьшего сопротивления, иначе говоря, наиболее полно утилизировать и всю внешнюю богатую игру сил и, возможно, всю физиологическую (непроизвольную) гамму реципрокных и иных, более сложных реактивных процессов на мышечной периферии.

Дальнейшее развитие детского бега после 5 лет близко повторяет собой этапы развития ходьбы, и на нем я здесь задерживаться не буду.

Анализ старческих изменений ходьбы, произведенный П.И. Шпильберг[1], подкрепил вышеизложенные данные о *развитии* структуры локомоторного акта интересными данными о ее *инволюции*. П.И. Шпильберг различает три инволюционные стадии старческой ходьбы. В первой из них замечается уже некоторое понижение нормальной деятельности структурных механизмов ходьбы, но это понижение усиленно компенсируется вовлечением в реализацию акта ходьбы высших психических функций: сознания, произвольного внимания и т.д. Во второй стадии инволюции эта настороженная сознательность уступает место повышенной суетливости, перепроизводству движений, торопливому и мелкому шагу. Инвентарь динамических структурных элементов становится беднее, постепенно атрофируется и затем исчезает вертикальная волна b_2 стопы (в раннем детстве эта волна стопы развивается, наоборот, позже всех прочих), затем стирается и бугорок продольной слагающей β. Реактивная волна α сохраняется значительно дольше. В третьей стадии замечается явный распад двигательных структур. Силовые кривые становятся мелкими по амплитудам и бедными по составу. Из них исчезает элемент за элементом. В то же время рассматривается и одинаковость последовательных шагов, начинается дисметрия, чередование шагов более мелких и более крупных, возникают явные признаки дискоординации (расстройства формы кривых S).

К описанной картине распада присоединяется еще подмеченное П.И. Шпильберг расщепление ранее единой координации. Присущая нормальной ходьбе синергия между ногами и руками нарушается, движения рук делаются аритмичными, амплитуды этих движений постепенно опадают до нуля, после чего руки оказываются скованно простертыми несколько впереди туловища, как бы во всегдашней готовности подхватить тело в случае падения. Вертикальные амплитуды стопных точек сохраняют еще некоторую ощутимую величину, но амплитуды

[1] Работа проведена в лаборатории физиологии движений Всесоюзного института экспериментальной медицины (1936).

верхних точек тела быстро стремятся к нулю, нарушая нормальные пропорции между движениями верха и низа. К самой глубокой дряхлости человек приходит с силовыми кривыми, столь же беззубыми, как и его челюсти. В них сохраняются только оба древнейших реципрокных элемента ε и $n\alpha$ (не считая α), да кое-какие остатки то от ζ, то от γ или η. Умирание структур видно на этом материале чрезвычайно ярко.

Таким образом, онтогенетический материал показал с несомненностью, что биодинамическая структура ходьбы возникает, проходит через ряд закономерных стадий развития и столь же закономерно инволюционирует в старости. Принципиально наиболее важно здесь то, что это развитие связано с очень определенными качественными сдвигами в самой структуре. В отношении своей *морфологии* эта структура проходит в раннем онтогенезе через: а) стадию реципрокного иннервационного примитива, б) стадию постепенного развития морфологических элементов, в) стадию избыточной пролиферации этих элементов, наконец, г) стадию обратного развития инфантильных элементов и окончательной организации целостной и соразмерной формы.

В своем отношении к *двигательной координации* биодинамическая структура ходьбы точно так же проходит через ряд качественно различных этапов развития:

1) в самом начале мы встречаемся здесь с симптомом гипофункции проприоцептивной координации вообще; нет соответствия между позой и динамической фазой; нет единства S при наладившемся уже единстве W и F; нет сходства S у разных детей;

2) далее ребенок проходит через стадию выработки проприоцептивной координации post factum (компенсационной, или вторичной, координации), и лишь гораздо позже развивается;

3) координация ante factum, точнее faciendo (дозировочная, или первичная, координация), организующаяся значительно позднее.

Совершенно естественно будет сопоставить между собой обе эти хронологии развития — морфологическую и функциональную. Такое сопоставление сможет дать нам ключ к расшифровке значения отдельных морфологических образований.

Мы полагаем сейчас, что первые, самые ранние онтогенетические (и, видимо, самые древние филогенетически) импульсы ε и детская n_α являются спонтанными, допроприоцептивными импульсами. Они составляют наиболее древний и первичный скелет движения, его ритмическую и динамическую основу. Все же позднее развивающиеся волны, возникновение которых приходится на период развития компенсационной координации, суть уже, несомненно, эффекторные реакции на проприоцептивные сигналы. Эти волны мы назвали реактивно-иннервационными. К числу таких волн относятся, например, ζ и β. Для них должна быть биодинамически характерной связь с позой движущегося органа и его скоростью (статэстетические и тахиэстетические механизмы).

Наконец, появление в динамических кривых элемента формы и стойкой соразмерности явным образом связано с развитием дозировочной координации, т.е. с деятельностью тех высокоорганизованных аппаратов центральной нервной системы, которые обеспечивают выполнение целостного проекта движения, меткость и точность движения и т.д.

Итак, мы устанавливаем среди составляющих волн биодинамической структуры по меньшей мере три глубоко различных между собой вида элементов: 1) *спонтанно-иннервационные,* наиболее первичные и древние (ε и n_α); 2) *реактивно-иннервацион-*

ные (γ, ζ, β); 3) *механически-реактивные,* не имеющие в своей основе ни иннервационных импульсов, ни изменений мышечной активности, а возникающие целиком на периферии в результате сложных столкновений внутренних и внешних сил в кинематической цепи конечности. К таким механически-реактивным волнам относится α, о которой еще будет речь дальше, и ряд более мелких волн.

4. Эскизы к качественному анализу биодинамических элементов локомоторного акта

В "создании" обнаруженных и изучаемых нами биодинамических элементов степень видимости и яркости отдельных объектов и степень представляемого или исследовательского интереса не совпадают друг с другом. Так бывает и с настоящими созвездиями, где очень часто объекты первой величины, "альфы" созвездий, гораздо менее богаты содержанием, чем какие-нибудь совсем слабо видимые образования, вроде δ Цефея, сделавшей не так давно целую эпоху в астрофизике. Но крупные и яркие объекты все-таки всегда замечаются первыми, и они уже дают исследовательской мысли толчок к наблюдению и изучению их более утонченных собратий.

Так было и в нашей работе с "звездой первой величины" — волной α. Сейчас эта волна представляет для нас несравненно меньше интереса, чем слабые и туманные объекты вроде группы ζ ходьбы или волн A' и n_{B_2} бега, но именно она ввела нашу исследовательскую группу в круг изучения биодинамических волн вообще. Поэтому она заслуживает краткой общей характеристики.

Напряжение сгибательной мускулатуры колена ведет к отведению голени и стопы назад *относительно колена,* но движение в пространстве самого колена и связанного с ним бедра еще не предрешается этим. По основному принципу биомеханики коленная мускулатура при изолированном действии может сместить центр тяжести всей ноги не вперед или назад, а только вдоль прямой линии, соединяющей его с тазобедренным сочленением, т.е. при ходьбе — только кверху или книзу. Поэтому при изолированном действии коленная мускулатура, смещая голень и стопу назад, неминуемо сместит бедро компенсаторно вперед. Такое же смещение бедра *вперед* получится и в том случае, если само оно испытывает в это время несильную тягу *назад* за счет своей тазобедренной мускулатуры, особенно потому, что последней приходится преодолевать значительно большие моменты инерции, нежели коленной мускулатуре.

Таким образом, может получиться, что если сгибательный момент в тазобедренных мышцах не намного больше сгибательного момента в коленных мышцах, то его хватит только на очень небольшое смещение назад общего центра тяжести всей ноги, в то время как коленный момент сможет обусловить заметное сгибание более податливой системы (голень + стопа) относительно колена. В результате бедро будет сдвинуто *вперед,* несмотря на то, что тазобедренные мышцы тянут его назад. Не будь этой тяги, бедро сместилось бы еще больше вперед, а для того чтобы совсем не пустить его вперед, сгибательная сила тазобедренных мышц должна была бы подняться до значительно более высокого уровня.

Так возникает в бедре в конце переносного времени сила, направленная *вперед,* несмотря на то что все мышцы кругом (и тазобедренные, и коленные) тянут в этот момент только назад (рис. 51).

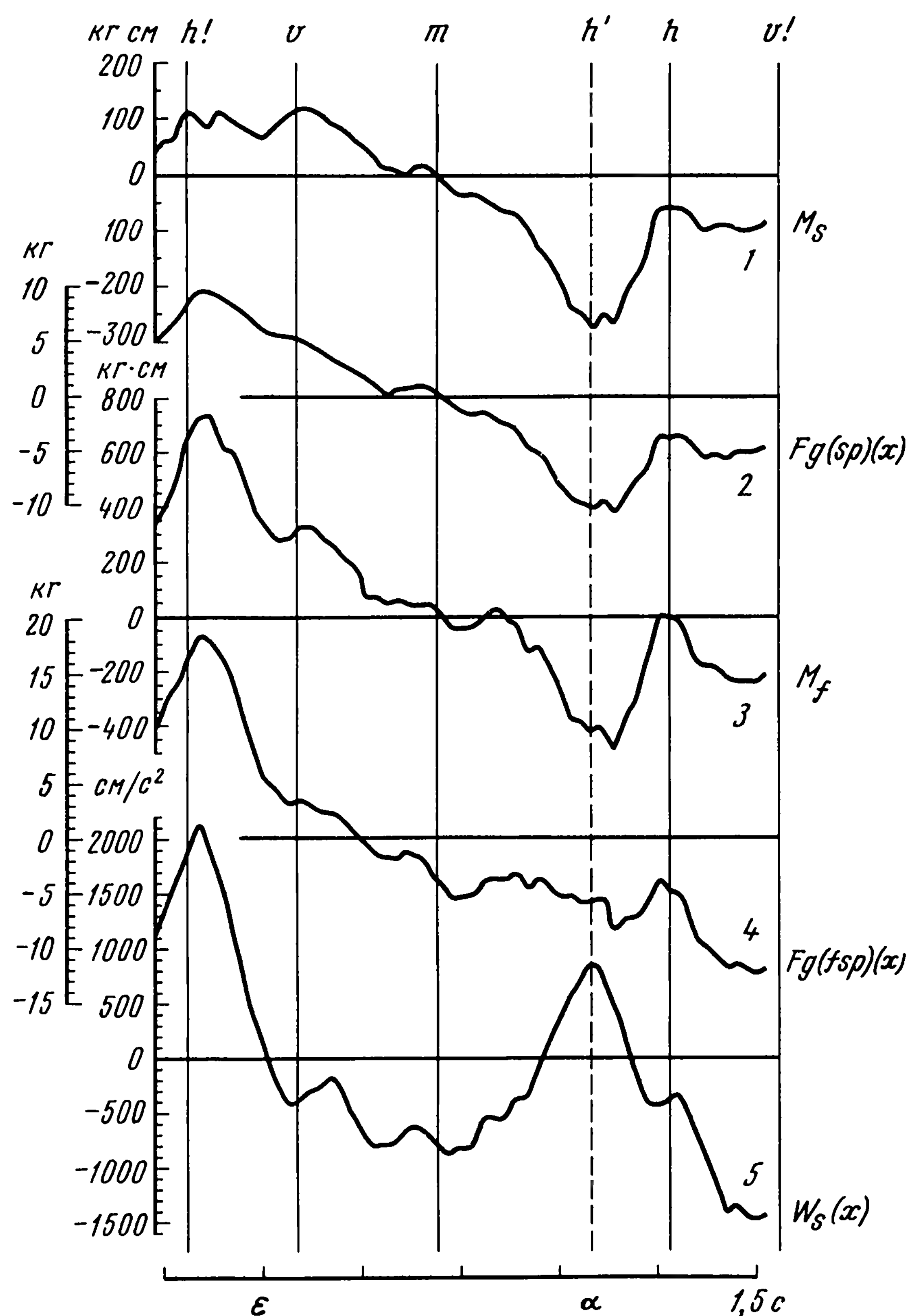


Рис. 51. Кривые мышечных силовых моментов при нормальной ходьбе в сопоставлении с кривыми усилий и ускорений звеньев ноги

1 — силовые моменты в коленном сочленении; *2* — продольная слагающая усилий в центре тяжести системы голень + стопа; *3* — силовые моменты в тазобедренном сочленении; *4* — продольная слагающая усилий в центре тяжести всей ноги; *5* — продольная слагающая ускорений коленного сочленения

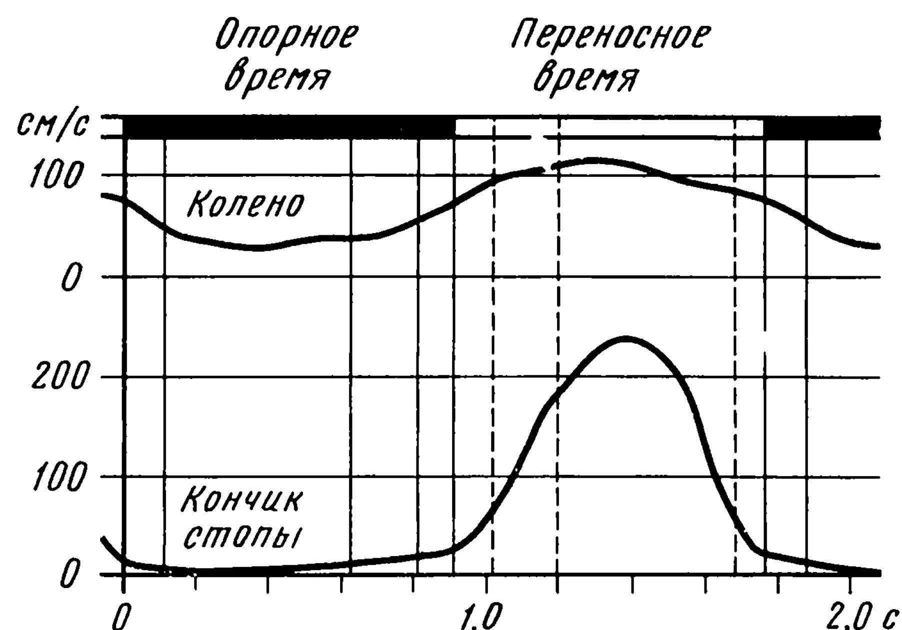


Рис. 52. Кривые продольных скоростей коленного сочленения и кончика стопы в случае растяжения коленных связок (болезненная затрудненность движений в колене) (работа автора, 1926 г.)

Это и есть силовая волна α, которую мы называем *реактивно-механической* по той вполне понятной причине, что она возникает в полном противоречии с направлениями мышечных сил данного мгновения за счет одной только периферической игры действий и противодействий в сложной кинематической цепи ноги.

Ясно, что если бы коленное сочленение было иммобилизовано каким-нибудь образом, то волна α бедра немедленно пропала бы. Это и подтверждается в действительности. На рис. 52 изображено протекание кривой продольных скоростей колена при ходьбе субъекта с растяжением связок коленного сочленения[1]. Вследствие болей в суставе этот пациент ходил, всячески оберегая колено от сгибания (антальгическая походка), в результате чего на его коленной кривой нет и следа волны α (эта волна образует второй, меньший бугорок нормальной скоростной кривой колена, см. ниже рис. 53, слева).

[1]Взято из статьи автора "Исследования по биодинамике ходьбы и бега" в сб. "Вопросы динамики мостов". (М., 1927. Вып. 3. С. 67). См. также статью "Клинические пути современной биомеханики" в "Сборнике трудов Института усовершенствования врачей в Казани" (1928. С. 255).

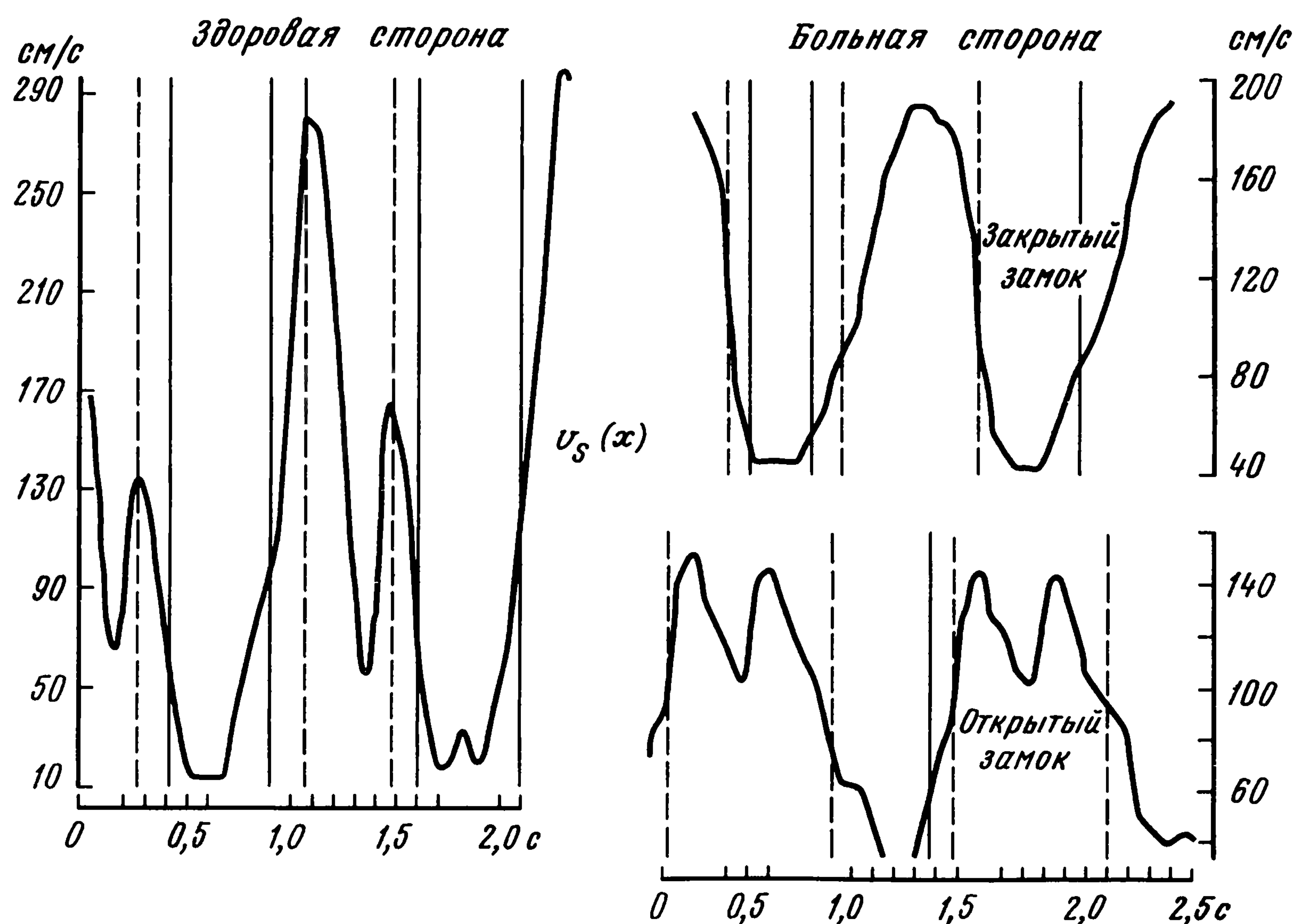


Рис. 53. Появление силовой реактивной волны α в коленном шарнире искусственной ноги (протеза) после открытия замка этого шарнира (из работ биомеханической лаборатории Центрального института труда инвалидов. О.А. Зальцгебер)

Мы проверили это положение и экспериментально. Здоровому субъекту забинтовывали шинной повязкой коленное сочленение, и волна α исчезала из его кривых или, по крайней мере, чрезвычайно сильно редуцировалась. Последнее могло обусловливаться некоторой "утечкой" подвижности колена через недостаточно плотно наложенную повязку. Интересно, что при всех этих условиях волна β, в нормальной ходьбе почти сливающаяся с α и с трудом отделимая от нее на глаз в нормальных кривых бедра, остается совершенно неприкосновенной и продолжает возвышаться над развалинами α.

Все это не дает, однако окончательно и решающего доказательства того, что α есть *реактивно-механическая волна.* Для решения этого вопроса мы получили возможность эксперимента, уже не оставляющего никаких сомнений[1]. Исследуемый с высокой ампутацией бедра имел искусственную конечность, возмещавшую ему нижний отрезок бедра, коленное сочленение, голень и стопу. Коленное сочленение можно было по желанию закреплять неподвижно замком или же обеспечить ему некоторую пассивную подвижность, ограничиваемую с обеих сторон пружинными буферами. Когда исследуемый шел при закрытом коленном замке, то, разумеется, в циклограмметрических кривых движения его протеза не было ни малейших следов α. Когда же замок оставляли открытым, то немедленно искусственная конечность начинала воспроизводить при ходьбе феномен α (рис. 53). Трудно

[1] Работа кандидата медицинских наук О.А. Зальцгебер, проведенная в Центральном институте труда инвалидов НКСО (см. ее статью "Биодинамика локомоций ампутированных" в "Трудах Московского научно-исследовательского института протезирования". (М., 1948. Т. 1. С. 25)).

было бы доказать точнее чисто механическую природу основной дуги этого феномена[1].

Надо оговориться, что, по нашим последним наблюдениям, *явление* α *не целиком механически-реактивно.* За ним начинают обнаруживаться какие-то спутники явно реактивно-иннервационной природы. Само явление α при беге не ограничивается одной одновременной парой волн *n*α—α, а вовлекает в себя целую цепочку последовательных волн. Этого и следовало ожидать, так как в живой природе никогда ни одно явление не исчерпывается одним каким-либо объяснением до конца.

Механически-реактивных волн можно насчитывать в локомоциях довольно много, а механически-реактивных компонент, наслаивающихся как часть на явления другой природы, несомненно, еще больше. К механически-реактивным волнам относятся, например, детская ζ, откликающаяся на усилие *n*ζ (начало главной реципрокной волны n_α), волны n_α и n_φ прусского военного шага и т.д.

К механически-реактивным компонентам следует отнести снижение области ζ в бедре по сравнению с центром тяжести всей ноги при нормальной ходьбе, указывающее на попятный реактивный эффект в бедре под влиянием напряжения разгибательной мускулатуры колена. Затем сюда же относится наблюдающееся при беге пассивное предельное *сгибание* колена, происходящее, несмотря на довольно сильное и длительное напряжение его *разгибательных* мышц. Подробно изучив одного представителя этого семейства, мы уже можем довольно легко констатировать принадлежность к тому же семейству значительно менее ярких объектов. Нужно только сформулировать общие всем им распознавательные признаки.

Основным признаком механически-реактивной волны является наличность в кривой, выражающей линейное усилие или ускорение звена, какой-либо волны, которой нет в соответствующее мгновение в кривой мышечных моментов ближайшего проксимального сочленения. Этот наиболее существенный признак решает вопрос о механически-реактивной природе волны сразу и без оговорок. Употребим здесь еще одно из ходовых выражений морфологов: кривые моментов — лучший реактив на распознавание элементов этого рода.

Второй признак менее строг и менее общ, но зато в преобладающем большинстве случаев более удобен для использования, так как моментный "реактив" очень трудоемок и потому дорог. Дело в том, что механически-реактивная волна всегда возникает как отдача от другой волны, активной, разыгрывающейся в одном из смежных звеньев. Из приведенного выше объяснения волны α видно, что механически-реактивная волна возникает вследствие невозможности для внутрених мышц системы сместить центр тяжести этой системы иначе чем вдоль линии подвеса системы. Поэтому, если внутренние мышцы системы сообщают одному звену ее ускорение в одну сторону, то другое звено испытывает при этом компенсирующее ускорение в противоположную сторону, уже механически-реактивное. Отсюда вытекает упомянутый второй признак: если в двух смежных звеньях свободно движущейся системы (например, переносной ноги) имеют место две одновременные волны прямо противоположного направления, то *почти всегда* это есть механически-реактивная пара и один из ее элементов представляет собой реакцию типа отдачи.

---

[1] Сгибательная сила коленных мышц, необходимая для воспроизведения феномена α, возмещается в этом случае силой пружинного буфера в коленном шарнире протеза.

Разумеется, здесь требуется очень тщательный анализ окружающих явлений, для того чтобы распознать, которая из волн активна, а которая реактивна и можно ли считать все явление целиком механически-реактивным или же в нем участвуют и иннервационные компоненты.

Значение такого анализа и выделения механически-реактивных компонент совершенно ясно. Только после очистки препарата движения от этих компонент, наслоившихся на него на периферии, можно говорить о том, что он действительно отражает собой внутренние, иннервационные процессы. Braune и Fischer думали в свое время пойти обратным, синтетическим путем, задаваясь определенными динамическими условиями и пытаясь решить, как будет двигаться при этих условиях сложный, многозвенный физический маятник конечности. В такой постановке задача оказалась математически совершенно неразрешимой из-за ее непомерной трудности. Мы идем обратным путем, который гораздо легче и который всегда доступен. Мы берем документ о реальном, живом движении, которое представляет собой готовый, уже решенный самой природой интеграл, и постепенно очищаем его от всех его внешних механических компонент, что всегда достижимо аналитическим путем. После этой очистки в наших руках остается только центральное иннервационное ядро движения, в котором надлежит дальше разбираться уже чисто физиологически, изучая, что в нем откуда происходит и как протекает.

В настоящее время мы стоим у самого начала такого изучения. Много времени ушло на разработку техники, немало и на отшлифовку постановки вопроса. Все же некоторые наблюдения, еще трудно систематизируемые, начинают уже накапливаться в направлении распознавания природы биодинамических элементов. Некоторые из этих наблюдений приведены здесь.

Если рассматривать рядом кривые усилий разных звеньев тела по одной и той же слагающей, то неминуемо бросится в глаза, что ряд элементов этих кривых обладает общностью для всех звеньев. Во всех кривых в известное мгновение с большей или меньшей степенью синхронизма протекает явственная прямая волна (максимум кривой) или обращенная волна (минимум кривой). В других же случаях такой общности нет и максимуму кривой одного звена или системы более или менее точно соответствует по времени минимум другого звена или системы. Волны первого типа мы обозначим как *однозначные,* волны второго типа — как *противозначные.*

Почти не знает исключения правило, что *тот пункт тела, по одну сторону которого волны однозначны, а при переходе через который становятся противозначными, заключает в себе активный динамический источник возникновения этих волн.* Если в отдельное мгновение все точки ноги, расположенные ниже колена, дают более или менее синхронный максимум на своих силовых кривых, а над коленом на месте того максимума оказывается минимум в силовых кривых той же слагающей, то это значит, что динамическая причина всей рассматриваемой волны лежит в коленной мускулатуре. К этому правилу подходит, между прочим, и случай реактивной пары n_{α}—α, разобранный выше, или случай n_{ε}—ξ из детской ходьбы.

Из этого наблюдения следует, что если какая-либо волна прослеживается в однозначном виде на протяжении всей конечности, то источник возникновения этой волны находится вне конечности. Таким путем мы убеждаемся, что волны b_1, b_3, b_4, b_5 главных вертикальных толчков ходьбы возникают вне ноги, так как они проходят по всем силовым кривым ноги как однозначные. Так как они однозначны и для обеих

сторон тела, их не приходится относить и к тазобедренной мускулатуре ног, что служит еще одним доказательством их большой интегральности.

Нельзя сказать того же о волне b_2 бедра (см. рис. 44), так как почти точно синхронно с ней имеет место впадина (минимум) n_2 в кривых вертикальных усилий голени и стопы. Перемена знака имеет место в области колена. Несомненно, в появлении этой пары b_2—n_2 как-то повинна коленная мускулатура (вряд ли целиком только она, так как случай осложнен отсутствием строгого синхронизма между b_2 бедра и n_2 голени и стопы).

Явно вне ноги возникает большинство продольных волн переносного времени (кроме α). На кривых бега особенно ясно можно проследить однозначность большинства из них на интервале примерно от δ до ζ. В то же время происхождение этих волн четко устанавливается тем обстоятельством, что одновременно с ними волны в другой ноге противозначны первым (см. рис. 50). Следовательно, источник сил лежит в тазобедренной мускулатуре — в области, соединяющей одну ногу с другой.

Есть признаки, позволяющие в ряде случаев выяснить не только мышечную область происхождения того или другого элемента, но и более глубокие иннервационные свойства этого элемента. Нам пришлось наблюдать случаи (бег, военный шаг), когда силовая волна нарастает и опадает в строгом параллелизме с изменениями сочленовного угла. Чем сильнее разгибается, например, тазобедренное сочленение, тем интенсивнее растет сгибательный момент в этом сочленении. Максимум углового отклонения и максимум усилия или момента наступают почти абсолютно синхронно или же силовой максимум запаздывает на несколько миллисекунд по отношению к угловому. Такая зависимость не оставляет сомнения в том, что данная волна есть рефлекс, отвечающий на растяжение мышечной группы: рефлекс типа миотатического (Eigenreflex). Подобные явления встречались нам регулярно в беге (волна n_A), прусском шаге (n_2), шаге в три темпа (n_1). Они имеют место, видимо, только при очень значительных угловых отклонениях звена от среднего положения.

Есть волны, которые обнаруживают мало связи со степенью углового отклонения, но зато очень тесную связь с позой. Как уже сказано выше, в нормальной здоровой ходьбе вообще большинство динамических фаз очень точно связано с определенными позами, при которых они наступают. Это доказывает, что в них доминирует чисто проприоцептивная регуляция. Однако некоторые волны легче отрываются от своих привычных поз при изменениях типа локомоции, чем другие. Наример, мы могли убедиться, что в военном шаге разных видов волна ξ связана с обычной для нее при ходьбе позой настолько неразрывно, что нарушает даже обычный порядок следования, забегая не в очередь. Обычно в нормальной ходьбе ξ наступает после отражения переднего толчка b_1, а в трехтемповом военном шаге ζ наступает раньше b_1, в тот самый момент, когда ногой будет достигнута поза ξ. Волна b_1 смещается по условиям измененной походки, а волна ξ — нет.

При беге волна, по всем признакам соответствующая ξ, наступает, однако, при другой позе ноги, нежели при ходьбе. Может быть, мы не правы, называя эту беговую волну ξ, а может быть, дело просто в том, что при беге вообще нет позы, хоть сколько-нибудь похожей на позу ξ ходьбы, так как вся кинематика переноса ноги при беге совершенно иная.

Этот вопрос относительно права называть ту или иную волну символом волны,

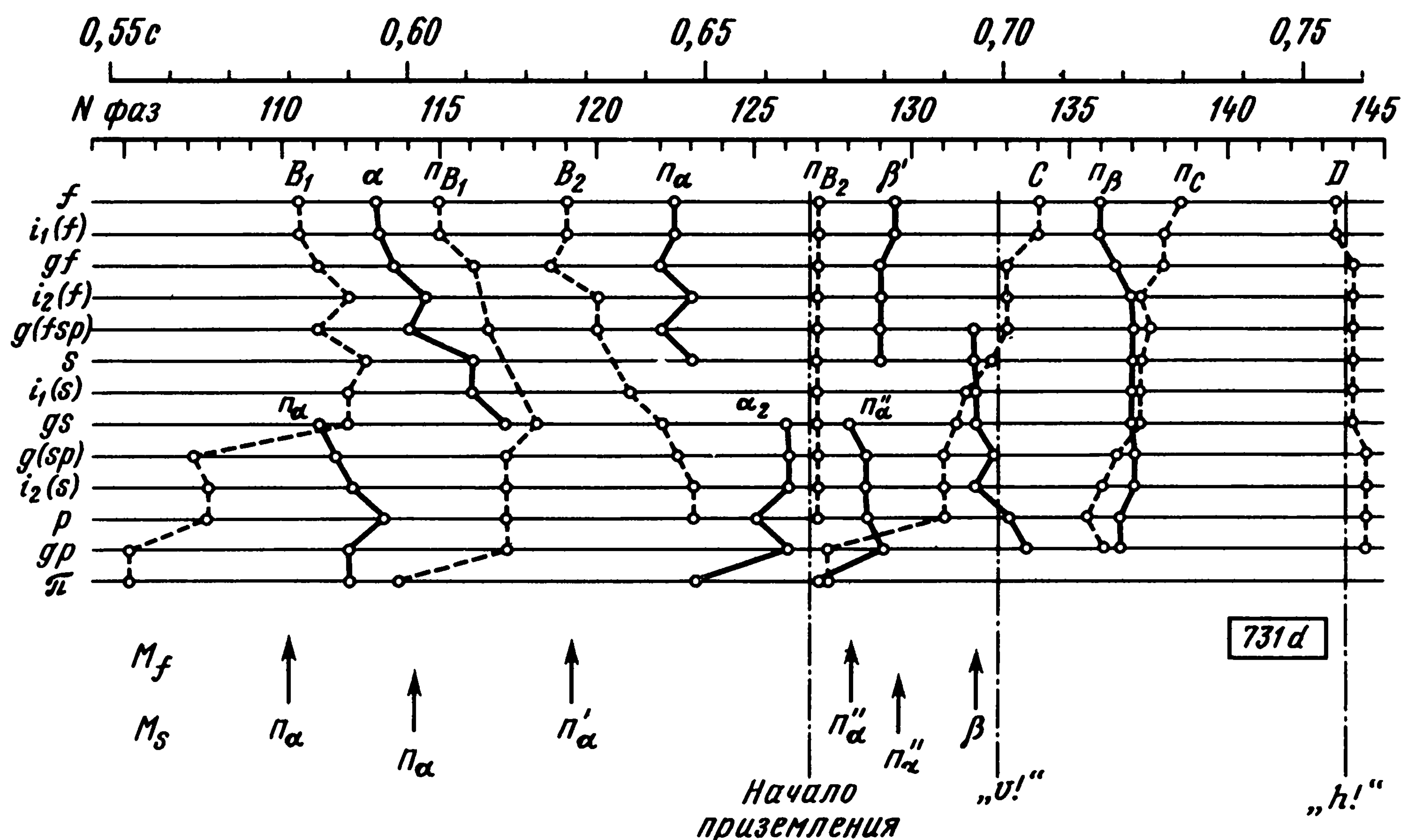


Рис. 54. Хронология протекания вертикальных и продольных силовых волн вдоль ноги в одном небольшом эпизоде бега Ж. Лядумега (от 0,55 до 0,75 с от начала данного заснятого движения) Слева указаны пункты, внесенные в хронограмму

уже изученной при другой разновидности локомоции, подводит к очень важному общему вопросу: в какой мере волны, называемые нами в разных видах локомоций одними и теми же символами, суть действительные гомологи, а не просто аналоги?

Применительно к трем группам объектов — детской ходьбе, бегу и военному шагу — мы пришли к выводу, что среди динамических волн разных видов локомоций, бесспорно, встречаются аналоги, обнаруживающие лишь внешнее, механическое сходство при глубоких различиях всей их природы (например, волна n_2 прусского шага и n_1 трехтемпового шага), однако же отличить их от истинных гомологов обычно не представляет труда. В общем же все данные о ходе развития движения, как и внимательный анализ его качественных разновидностей, говорят о том, что наши волны, носящие одно имя во всех этих видах локомоций, суть в преобладающей части действительные, генетические гомологи. Тем не менее вопрос, например, о природе интегральных волн вертикальной слагающей настолько сложен, что мы не могли пока установить здесь гомологии между бегом и ходьбой и дали вертикальным волнам бега отдельную номенклатуру.

Очень важные материалы для суждения о той или иной внутренней сущности различных волн могут быть извлечены из наблюдения над хронологией протекания такой волны по времени. Мы только еще начинаем разбираться в признаках этого рода, но все же нужно сказать о них несколько слов.

Если прослеживать ту или иную волну по кривым различных пунктов конечности, то окажется, что волны, абсолютно синхронные по всем пунктам конечности, существуют (например, ε или n_{B_2} бега), но в виде крайне редких исключений. Обычно же волна пробегает по конечности сверху вниз или снизу вверх. Одни волны

проделывают такой перелив быстрее, другие медленнее (такие хронологические анализы приведены, например, на рис. 54). Классические центральные спонтанные волны ε и n_α проделывают движение по ноге сверху вниз, от центра к периферии. Волны, представляющие собой реактивные толчки от внешней силы, распространяются от точки приложения этой силы, например опорный передний толчок C при беге. Есть ли это обязательное правило, сейчас сказать трудно.

Заслуживает внимания, что для ряда изученных волн скорость их перелива вдоль конечности оказалась близкой к скорости распространения нервного импульса по волокну. Это ставит на очередь очень интересные проблемы, которые послужат, очевидно, предметом ближайших предстоящих исследований.

5. Выводы к учению о координации движений

В заключение этого очерка необходимо сказать несколько слов о том, что нового может внести обсуждение обрисованного здесь материала в понимание координации движений.

Понятие координации движений, подобно многим другим научным понятиям, возникло отрицательным путем — через наблюдение явлений дискоординации — и лишь обогащалось содержанием постепенно, по мере того как росли наблюдения над двигательной патологией. И как все понятия, возникшие отрицательным путем, оно все время страдало отсутствием точного определения.

Понятие координации не вытекает дедуктивно из понятия эффекторного процесса. До тех пор, пока двигательная периферия мыслилась как точная соматотопическая проекция центрального эффекторного аппарата, воспроизводящая в виде движений с обязательной точностью и однозначностью все те цепи эффекторных импульсов, которые приходят в нее сверху, в понятии координации не было никакой надобности. Если центр пошлет на периферию правильную и целесообразную эффекторную цепь, она спроецируется на периферии в виде правильного и целесообразного движения. Если цепь центральных эффекторных импульсов будет составлена неправильно и нецелесообразно, то и ее периферической проекцией окажется неправильное и нецелесообразное движение. Но как в том, так и в другом случае движение будет *координированным,* т.е. точно вопроизводящим то, что содержалось в центральном импульсе. То и другое будет одинаково точно выполнено (отражено) двигательной периферией, подобно тому как рояль с одинаковой точностью отобразит в звуках хорошую и плохую игру.

Понятие координации приходится привлечь к объяснению эффекторного процесса лишь с того момента, как уясняется, что двигательная периферия не имеет той жесткой механической связи с центром, которая была постулирована в предыдущих примерах. *Движение не детермируется полностью эффекторным процессом.*

Но если недостаточно послать на периферию так или иначе скомпанованный эффекторный импульс, а необходимо еще суметь заставить периферию послушаться его в желаемом направлении, то наряду с первичной эффекторной системой должна существовать еще более или менее сложная вспомогательная система, обеспечивающая постоянную и полную *управляемость* периферией со стороны центра. Чем глубже функциональный разрыв однозначности между центром и двигательной периферией, чем сложнее и неустойчивее реальная зависимость между импульсом и

движением, чем больше число степеней свободы двигательной периферии относительно центрального эффектора, тем более сложной и тонкой приходится мыслить себе упомянутую организацию управления. Эта организация управления и управляемости и есть координация движений.

Таким образом, идея координации находится в теснейшем соотношении с идеей *функциональной неоднозначности* связи между двигательным центром и периферией, между импульсом и эффектом. Чем более обогащаются наши сведения о формах и видах существования этой неоднозначности, тем больше углубляется и наше понимание координации движений.

К настоящему времени известен ряд источников такой индетерминации. Прежде всего должны быть упомянуты выявившиеся раньше других *анатомические* источники. Факт наличия большого числа степеней свободы подвижности у сочленений, а тем более у сложных кинематических цепей организма создает весьма много условий для индетерминированности. Сюда относятся: невозможность существования стойких анатомических антагонистов при возможных сочленениях, разнообразие функций одной и той же мышечной порции при многоосном суставе в зависимости от исходного расположения звеньев, описанное впервые Fischer многообразие работы мышцы, перекинутой более чем через одно сочленение, и т.д. К анатомическим же источникам следует отнести и факт множественной иннервации скелетной мышцы, устанавливающий конвергирующую моторную зависимость ее как от ряда отделов и проводящих путей центральной нервной системы, так и от автономной нервной системы.

Далее уяснился ряд источников индетерминации *биомеханического* порядка, чему мы старались способствовать по мере сил нашими исследованиями. К основным фактам принципиального значения в этой области следует отнести, во-первых, охарактеризованный выше факт *кольцевой зависимости* между мышечным напряжением и движением — факт, устанавливающий наличие индетерминации в строгом математическом выражении и прямо указывающий на необходимость по меньшей мере двух интеграционных условий, *не зависящих* от первичного эффекторного импульса.

Второй принципиальный факт в этой группе есть факт высокой механической сложности многозвенной кинематической цепи (конечности, а тем более всего тела), обусловливающий огромное изобилие всевозможных реактивных сил и моментов в такой цепи и делающий ее крайне капризным и непокорным прибором для выполнения движений. Здесь сто́ит указать, что математическая теория многозвенных маятников исключительно сложна, дает решения только для немногих частных случаев и что в технике до настоящего времени нигде не удалось применить (без автоматического управления) многозвенные кинематические цепи, в которых одновременно использовалось бы больше одной степени свободы.

Третья группа источников индетерминации начинает вырисовываться только за последние одно-два десятилетия, все обогащаясь новыми данными. Это группа *физиологическая.* В нее приходится включать все те данные, которые свидетельствуют об избирательном отношении двигательной периферии к прибывающим на нее эффекторным импульсам. Если раньше путь следования эффекторного импульса от гигантопирамидальной области коры до мионевральной пластинки представлялся (функционально) сплошным и непрерывным, то сейчас дело оценивается существенно иначе. Избирательный и интеграционный характер работы синапсов

передних рогов выяснил еще Sherrington. Принцип изохронизма Lapicque наметил для этого характера работы частичное истолкование. Наблюдения школы Adrian над спинальной трансформацией ритмов в сопоставлении с богатыми материалами школы Введенского по лабильности и парабиозу еще сильнее подчеркнули физиологически активный характер последнего синапса. Избирательность мионевральной передачи прочно установлена тем же Lapicque и получила, кроме того, очень яркое и своеобразное освещение в работах Weiss (1930). Общим во всех этих материалах является факт активного, фильтрующего отношения двигательной периферии к прибывающим на нее импульсам и явная обусловленность этой активности не центральными отношениями, а афферентационным полем.

Все перечисленные источники индетерминации ведут к одному и тому же конечному результату: *двигательный эффект центрального импульса не может быть предрешен в центре,* а решается целиком на периферии: у последнего спинального и мионеврального синапса, в мышце, в механических и анатомических изменчивых условиях смещаемого звена и т.д. Отсюда очевидно, что решающую роль для осуществления управления движением должна играть *афферентация*: и та, которая определяет физиологическую проводимость периферических синапсов, и та, которая держит мозговой центр в курсе текущего механического и физиологического состояния двигательного аппарата. Центральные эффекторы могут осуществлять координированное движение, только пластически реагируя на совокупную сигнализацию с афферентационного поля, приспособляя посылаемые импульсы к тому, что в текущей реальной ситуации имеет место на периферии.

Итак, координация есть своего рода сложный сенсомоторный рефлекс, начинающийся с афферентного потока и кончающийся точно адекватным центральным ответом. Но и сам афферентный поток координационного рефлекса представляет собой форму реагирования периферии тела на начатое или текущее движение. В этом явлении мы имеем перед собой своего рода опрокинутый рефлекс, где возбуждающей полудугой служит эффекторный нервный путь, реагирующей полудугой — афферентный нервный путь. Точкой замыкания рефлекторной дуги является здесь функциональная связь между двигательным импульсом и результирующим движением, т.е. та самая область биомеханической и физиологической индетерминации, о которой была речь выше. Эта функциональная область заслуживает фигурального названия периферийного синапса.

Поскольку это так, мы убеждаемся, что структура координационного рефлекса принципиально очень глубоко отличается от известных нам по другим областям сенсорных рефлексов: *координационный рефлекс представляет собой не дугу, а замкнутое кольцо с функциональными синапсами у обоих концов полудуг.* В нем центростремительный процесс, как и во всяком другом рефлексе, замыкается наверху на центробежный, но центробежный, дойдя до периферии, немедленно замыкается там на новый центростремительный.

Как всякая форма целесообразно структурированной нервной деятельности, координация движений развивается постепенно, на основе опыта и упражнения. Раз координация, как мы установили, есть преодоление периферической индетерминации, то ясно, что исходные трудности для координации заключаются как раз в чрезвычайном обилии степеней свободы, с которыми центр первоначально не в состоянии справиться. И действительно, мы наблюдаем, как правило, что

зачаточная координация прибегает ко всевозможным обходным путям, для того чтобы свести число степеней свободы на периферии к минимуму. Когда новичок — спортсмен, музыкант или производственник — впервые приступает к освоению новой координации, он жестко, спастически фиксирует, напрягает рабочую конечность или все тело именно потому, что это есть способ погасить ряд кинематических степеней свободы и уменьшить поначалу число тех, которыми он должен управлять. Беспозвоночные организмы имеют в своем распоряжении в качестве координационного суррогата механизмы мышечного "защелкивания" (Sperrung), которые физиологическим путем устраняют ненужные в данный момент степени свободы. Но нужно отметить, что и все те низкоорганизованные позвоночные (до птиц включительно), у которых striatum еще превалирует над корой полушарий, обладают аналогичными закрепительными мышечными механизмами и широко пользуются ими. Ящерица, змея, многие крупные птицы (орел, попугай и т.п.) в паузах между произвольными движениями неподвижны, как трупы. Пресмыкающиеся особенно характерно статуеобразно застывают всем телом, как только у них прекращается очередное произвольное движение. Если ящерица делает поворот головой и шеей, то туловище и конечности ее при этом неподвижны, как изваянные. Млекопитающие, по-видимому, совершенно лишены в норме подобных Sperrungen и возвращаются к ним лишь в случае болезненной гиперфункции экстрапирамидной системы (каталепсия, кататония, гипертонические симптомокомплексы у больных энцефалитом). В норме у млекопитающего и человека никакой "покой" вне глубокого сна не равен неподвижности. Внимательное наблюдение над стоящим или сидящим человеком, собакой, кошкой убеждает в этом. Даже стойка кошки или тигра совершенно непохожа на стойку змеи (или паука), достаточно посмотреть хотя бы на хвост.

Искусственное тетаническое закрепление избыточных степеней свободы, замечаемое в виде напряженной скованности у новичков, постепенно заменяется по ходу тренировки все большим освобождением. Овладев первыми степенями свободы, организм все щедрее снимает запреты с дальнейших степеней. При высокой себестоимости тетанических фиксаций это способствует повышению экономичности движения и уменьшению его утомительности. Здесь можно заметить две последовательные ступени освобождения. Первая ступень соответствует снятию фиксаций, т.е. включению всех кинематических степеней свободы. Они уже не мешают движению организма, а привносимые ими осложняющие реактивные явления, добавочные колебательные частоты и т.д. организм умеет уже гасить не профилактически (устраняя данную степень свободы нацело), а иннервационно-реактивно (посредством одиночных динамических импульсов). Вторая, наиболее высокая ступень координационного освобождения соответствует такому уровню координации, когда организм не только не боится реактивных явлений в системах со многими степенями свободы, но в состоянии построить свое движение так, чтобы максимально использовать возникающие реактивные явления. Наш материал позволил наблюдать ряд таких случаев использования как у больших мастеров движения, так и у старших обучающихся.

По-видимому, эта высшая ступень совпадает с тем, что спортсмены и музыканты-педагоги знают как "расслабление", инстинктивно чувствуя суть явления, но не умея правильно его сформулировать. Экономический эффект от перехода на эту ступень очевиден: здесь не только сводятся к минимуму "гасящие" реактивно-иннервацион-

ные импульсы, хотя бы и краткие, но и используются в положительном смысле все те механические реактивные силы многостепенной системы, которые в лучшем случае, на предыдущем координационном уровне, протекали без вреда. Эта вторая координационная ступень есть биологическое оправдание имеющегося у высших млекопитающих богатства кинематических степеней свободы и доказательство того, что возможен такой уровень совершенства координации, на котором это богатство прямым образом полезно.

Гораздо труднее судить о том, как преодолевается организмом внутренняя, физиологическая индетерминация периферии. Однако уже сейчас можно сделать некоторые суждения по этому поводу.

Все изложенное выше о преодолении и последующем использовании множественности степеней свободы можно представить так. Подвижная часть организма не во всех состояниях одинаково воспринимает тот силовой импульс, который подается в нее через мышцу. Секрет координации состоит в том, чтобы не только не тратить лишних импульсов силы на гашение реактивных явлений, но, наоборот, использовать последние так, чтобы активные мышечные силы употреблять лишь в качестве силовых добавок. В этом случае то же (в конечном итоге) движение потребует меньших затрат активной силы. Можно выразить это (по аналогии с более простыми, но подобными электрическими явлениями) в виде утверждения, что во втором случае реактивное сопротивление подвижной системы мышечным усилиям меньше, нежели в первом, или, что то же самое, что реактивная проводимость ее больше во втором случае, нежели в первом. Высокий уровень координации обеспечивает двигательной периферии более высокую реактивную проводимость для мышечных силовых импульсов. Нужно заметить, что, поскольку эта повышенная проводимость возникает целиком на основе использования *динамических,* текучих явлений, постольку и сама она не может быть стойкой или постоянной величиной. Совершенная координация должна состоять в том, чтобы уметь давать *нужный импульс в нужный момент,* ловя мимолетные фазы высокой силовой проводимости и пережидая те фазы, в которых эта проводимость проходит через низкие значения.

Вполне оправдана мысль провести аналогию между этой исследовавшейся нами реактивно-механической проводимостью и теми явлениями изменчивой синаптической проводимости на эффекторном пути, которые упоминались выше и которые выяснились для нервной физиологии за последние годы. И наблюдения Lapicque, и наблюдения Weiss одинаково говорят о том, что эффекторный импульс *может прийти, но не пройти.* Очевидно, и на этом уровне наиболее экономичным и эффективным будет тот импульс, который застанет в синапсах к моменту своего прибытия наивысший уровень проводимости или же (что с точки зрения результата сведется к тому же) тот импульс, который по своим качествам будет наиболее адекватен условиям проводимости ("лабильности") у конечного синапса. Следовательно, и здесь координация будет состоять в том, чтобы обеспечить условия, при которых эффекторные импульсы встречались бы на периферии с состояниями или фазами наивысшей физиологической проводимости и не налетали на фазы физиологической рефрактерности, которые бы обрекали их на израсходование вхолостую.

Итак, роль координации на этом уровне должна состоять в *подготовительной организации моторной периферии к обеспечению оптимальной избирательной*

проводимости. Этот взгляд существенно необычен, но он с необходимостью вытекает из фактов. Раз эффекторный импульс принципиально не может обеспечить собой координацию, полностью зависящую от *афферентного,* а не эффекторного процесса, то уже не остается возможности рассматривать этот импульс как нечто очень тонко дифференцированное, так как для этого не находится биологических оснований. В нем неоткуда было выработаться тонкой *эффекторной* дифференциации, поскольку, как уже показано выше, для каждого повторения некоторого движения периферийная индетерминация требует иных эффекторных сочетаний. Координация на характеризуемом уровне состоит основным образом не в характере и тонкости эффекторного тетанического импульса, а в тонкости каких-то предварительных (не тетанических!) эффекторностей, которые организуют и настраивают периферию к пропусканию нужного импульса в нужный момент. Координационный процесс не течет ни в составе самого тетанического импульса, ни следом за ним. Он течет *впереди,* прокладывая и организуя ему дорогу, и притом явно по каким-то другим путям, пользуясь какими-то особыми иннервационными процессами.

Что это за пути, по которым распространяется координационный процесс данного уровня, и в чем именно состоят используемые им нететанические эффекторности, мы можем в настоящее время только догадываться. Тем не менее можно высказать некоторые предположительные суждения в этой области.

Прежде всего не подлежит сомнению, что координация отнюдь не решается самостоятельно на периферии, а что та подготовленность периферии к избирательному пропусканию "нужного импульса в нужный момент", о которой говорилось выше, определяется в очень большой мере центрально (в порядке лапиковской "субординации" в расширенном смысле понятия), посредством проприоцептивного рефлекторного кольца. Координационный процесс на описываемом уровне, видимо, не есть тетанический процесс, но он, бесспорно, включает в себя и рецепторную и эффекторную часть.

Нам кажется очень заманчивым привлечь к объяснению характеризуемых здесь явлений понятие тонуса.

Физиологические материалы о тонусе давно уже переросли первоначальное содержание этого понятия, заключавшего в себе только идею о наличном состоянии упругости и вязкости мышечного пучка. Не получая более никаких уточненных определений, тонус в понимании физиологов стал постепенно включать в себя очень большую совокупность фактов, начиная от децеребрационной ригидности и вплоть до тонуса Магнуса и де Клейна, понимаемого уже как широкая подготовительная настройка двигательной периферии (в первую очередь шейно-туловищной мускулатуры) к осуществлению позы или движения.

Старое статическое понимание тонуса как физиологической упругости суживало и тормозило понимание этих явлений. Кажется, сейчас есть основания решиться на одно, может быть смелое, сопоставление и высказать по поводу тонуса следующее:

а) тонус как текучая физиологическая настройка и организация периферии к позе или движению есть *не состояние упругости, а состояние готовности;*

б) тонус — состояние не только мышцы, а всего нервно-мышлечного аппарата, включая сюда по крайней мере последний спинальный синапс и конечный общий путь;

в) тонус с этой точки зрения относится к координации, как состояние к действию или как предпосылка к эффекту.

Принятые в качестве рабочей гипотезы, эти предположения в состоянии объяснить очень многое.

Во-первых, бросается в глаза тот факт (о котором не думалось раньше, но который теперь, после сделанных сопоставлений, кажется очевидным), что до сих пор неизвестно *ни одного* случая патологии координаций, который не был бы в то же самое время патологией тонуса, и неизвестно *ни одного центрально-нервного аппарата,* который имел бы отношение к одному из этих явлений без отношения ко второму. Мозжечок издавна известен как прибор, имеющий решающее значение для координации, и он же есть важнейший эффектор для тонуса. То же относится к паллидуму и красному ядру. Раздражения вестибулярного аппарата ведут к функциональной дискоординации и перераспределению тонуса. Перерезка задних столбов вызывает единовременно атаксию и атонию. То и другое есть основные моторные симптомы tabes. Экспериментальная деафферентация немедленно влечет за собой исчезновение координации и исчезновение тонуса. Число примеров этого рода легко было бы умножать in infinitum.

Во-вторых, становится понятным, что обозначают собой гибкие и отзывчивые тонические реакции, изучавшиеся школой Магнуса, но по несовершенству аппаратуры прослеживавшиеся преимущественно на малоподвижных опорных органах животного — шее и туловище. Очевидно, что эти в высшей степени пластичные системные рефлексы представляют собой решающие координационные предпосылки к движению или позе и что их физиологическая задача отнюдь не ограничивается приданием каркасу тела необходимой и однообразной жесткости, а включает в себя всю приспособительную реакцию периферии к условиям внешнего (статического и динамического) силового поля.

В-третьих, сделанное нами сопоставление физиологического тонуса с теми центрально управляемыми механизмами, которые регулируют проводимость дистальных синапсов, очень выразительно объясняет то обстоятельство, что анатомический субстрат и радемакеровских тонических явлений, и ляпиковских субординационных явлений один и тот же, а именно низовой этаж экстрапирамидной системы, группа красного ядра. Перерезка мозгового ствола на этом уровне дает картину распада субординации, возвращения мышечных хронаксий к их конституционной ригидности, т.е. к картине застывшего, нереактивного распределения тонуса с четким преобладанием в одних случаях экстензий, в других — флексий. Это соответствие, явно не случайное, позволяет говорить и об анатомическом субстрате характеризуемого координационного уровня, относя его к группе красного ядра и к связанному с ней функционально palaeocerebellum.

Иннервационными путями для управления тонусов в нашем смысле окажутся при этом рубро-спинальный тракт для тономоторных эффекторностей и симпатические стволы — для тонотропных.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

Очерк восьмой

НАЗРЕВШИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕГУЛЯЦИИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ АКТОВ[1]

Очевидная огромная биологическая значимость двигательной деятельности организмов — почти единственной формы осуществления не только взаимодействия с окружающей средой, но и активного воздействия на эту среду, изменяющего ее с небезразличными для особи результатами, — заставляет особенно остро недоумевать перед тем теоретическим отставанием, которое наблюдается в физиологии движений по сравнению с разделами рецепторики или физиологии внутренних процессов, и перед тем пренебрежением, в каком до настоящего времени находится раздел движений в физиологических руководствах, уделяющих ему обычно от нуля до нескольких страниц. Необходимо вкратце показать, как велик был ущерб, понесенный вследствие этого общей физиологией.

Если классифицировать движения организма с точки зрения их биологической значимости для него, то ясно, что на первом плане по значимости окажутся акты, решающие ту или иную возникшую перед особью *двигательную задачу*. Отсрочивая пока анализ этого понятия, заметим, что *значимые* задачи, разрешаемые двигательной акцией, как правило, возникают из внешнего окружающего организм мира. Сказанное сразу устраняет из круга значимых акций как все "холостые" движения, не связанные с преодолеванием внешних сил, так и значительную часть мгновенных, однофазных движений типа отдергивания лапы и т.п. Уже отсюда видно, что лабораторная физиология, за малыми исключениями оставлявшая за порогом рабочей комнаты все движения, кроме болевых, оборонительных, самое большее — чесательных рефлексов[2], тем самым обедняла свои познавательные ресурсы не только количественно, но и качественно и, как мы сейчас увидим, отнюдь не только в отношении узко двигательной проблематики.

Прежде всего, если относительно "холостых" движений (показывание, проведение линии по воздуху и т.п.) требуются некоторые сведения из механики и биомеханики, чтобы усмотреть для них неотвратимую необходимость кольцевых сенсорных регуляций, то в отношении двигательных актов, сопряженных с преодолением

---

[1] Настоящий очерк был опубликован в журнале "Вопросы психологии" (1957. N 6. С. 70).

[2] Реакция, обозначаемая как ориентировочный рефлекс, была относима к категории значимых акций только терминологически и, насколько мне известно, никогда не использовалась для прямого исследования рефлекторной деятельности в точном значении этого термина.

внешних сил, эта необходимость понятна с первого слова. Состоит ли решаемая двигательная задача в локомоции (особенно чем-либо осложненной: бежать по неровному месту, вспрыгивать на возвышение, плыть при волнах и многое другое), в борьбе с другим животным, в рабочем процессе, выполняемом человеком, — всегда предпосылкой для решения является преодоление сил из категории *неподвластных,* а следовательно, непредусмотримых и не могущих быть преодоленными никаким стереотипом движения, управляемым только изнутри. Неосторожное отметание из поля зрения этих процессов активного взаимодействия с неподвластным окружением (видимо, самоограничение одними "атомами движений" выглядело вполне оправданным для механицистов-атомистов прошлого века, считавших, что целое есть всегда сумма своих частей и ничего более) повело прежде всего к тому, что принцип сенсорной обратной связи, который именно на двигательных объектах мог быть легко усмотрен и обоснован уже 100 лет назад, оставался в тени до недавнего времени.

Долгие годы в физиологии непреоборимо держался в качестве ведущего и универсального принцип разомкнутой рефлекторной дуги. Нельзя исключить возможности того, что действительно в таких элементарных процессах, как рефлекс слюноотделения, или в таких отрывистых и вообще второстепенных по биологическому значению, как рефлекс болевого отдергивания и т.п., дуга не замыкается в *рефлекторное кольцо,* характерное для схемы управляемого процесса, либо из-за кратковременности акта, либо вследствие его крайней элементарности. Но возможно и вероятно также, что в силу тех же причин краткости и элементарности имеющаяся и здесь циклическая структура ускользала до сих пор от внимания и регистрации (для слюноотделительного процесса это уже почти несомненно). Так или иначе, но представляется очень правдоподобным, что рефлекс по схеме *дуги* есть лишь рудимент или очень частный случай физиологического реагирования[1].

Остается сказать еще об одном ущербе, понесенном физиологией от подмены реальных двигательных актов, разрешающих возникшую объективную задачу, обломками движений почти артефактного характера. Этот последний ущерб, до сего времени не подчеркивавшийся в достаточной степени, очень сильно обеднил наши познания в области *рецепторной* физиологии и при этом содержал в себе корни важных методологических ошибок.

Нельзя не заметить, что в роли приемника *пусковых сигналов,* включающих в действие ту или иную рефлекторную дугу, — единственной роли, изучавшейся физиологами классического направления, рецепторные системы, по крайней мере у высокоорганизованных животных и у человека, функционируют существенно и качественно иначе, нежели в роли следящих и корригирующих приборов при выполнении двигательного акта. Это различие можно уяснить, если, став снова на точку зрения биологической значимости, направить внимание на те качества, которые в том и другом случае должны были отсеиваться путем естественного отбора.

---

[1] Я не решился бы даже исключить возможность того, что первый в мире рефлекс по схеме разомкнутой дуги появился на свет там же, где возникло первое в мире "элементарное ощущение" — то и другое в обстановке лабораторного эксперимента.

Для сигнально-пусковой функции рецептору существенно иметь высокую чувствительность, т.е. максимально низкие пороги как по абсолютной силе сигнала, так и по различению между сигналами. На первый план по биологической значимости здесь выступают *телерецепторы* обоняния, слуха (также ультраслуха) и зрения в различных ранговых порядках у разных видов животных. Для вычленения далее значимых сигналов из хаотического фона "помех" нужна и необходимо вырабатывается совершенно аналитическая или *анализаторная* способность реципирующих аппаратов центральной нервной системы (вполне естественно, что И.П. Павлов, в столь большой степени углубивший наши знания по сигнально-пусковой функции рецепторов, присвоил им название *анализаторов,* только в самые последние годы его жизни дополненное приставкой "синтез").

Наконец, для этой же сигнально-пусковой роли важнейшим механизмом (который предугадывался уже И.М. Сеченовым и был впоследствии отчетливо экспериментально выявлен исследователями, отправлявшимися от практических задач военного наблюдения) является совокупность процессов активного систематизированного *поиска* (scanning), или "просматривания", своего диапазона каждым из телерецепторов. Это процессы целиком активные, использующие эффекторику в полной аналогии с тем, как последняя эксплуатирует афферентацию в управлении движениями, но, замечу сразу, не имеющие ничего общего с процессами привлечения организованных двигательных актов к целостному активному восприятию объектов внешнего мира, о чем будет речь дальше.

Когда же двигательный смысловой акт уже "запущен в ход" тем или иным сенсорным сигналом, требования, предъявляемые биологической целесообразностью и приведшие к сформированию в филогенезе механизмов кольцевого *сенсорного корригирования,* оказываются существенно иными. Что бы ни представляли собой возникшая двигательная задача и тот внешний объект, на который она направлена, для правильной, полезной для особи реализации этой задачи необходимо *максимально полное и объективное* восприятие как этого объекта, так и каждой очередной фазы и детали собственного действия, направленного к решению данной задачи.

Первая из названных черт рецепторики в этой ее роли — полнота, или синтетичность, обеспечивается хорошо изученными как психо-, так и нейрофизиологами сенсорными синтезами (или сенсорными полями). К их числу относятся, например, схема своего тела, пространственно-двигательное поле, синтезы предметного или "качественного" (топологического) пространства и др. Роль этих "полей" в управлении двигательными актами автор (1947) пытался подробно обрисовать в книге о построении движений. Здесь достаточно будет только напомнить: 1) что в этой функциональной области синтетичность работы рецепторных приборов фигурирует уже не декларативно (как было выше), а как реально прослеженный на движениях в их норме и патологии основной факт и 2) что в каждом из таких сенсорных синтезов, обеспечивающих процессуальное управление двигательными актами, структурная схема объединения между собой деятельности разных проприо-, танго- и телерецепторов имеет свои специфические, качественно и количественно различные свойства. При этом слияние элементарных информаций, притекающих к центральным синтезирующим аппаратам от периферических рецепторов, настолько глубоко и прочно, что обычно почти недоступно расчленению в самонаблюдении. И в описываемой функции принимают участие все или

почти все виды рецепторов (может быть, только за исключением вкусового), но уже в существенно иных ранговых порядках. На первом плане оказывается здесь обширная система проприорецепторов в узком смысле. Далее она обрастает соучастием всей танго- и телерецепторики, организовавшейся на основе всего предшествующего практического опыта для выполнения роли "функциональной проприоцепторики". О других, еще только намечающихся чертах чисто физиологического своеобразия работы рецепторов в обсуждаемом круге функций — параметрах адаптации, порогах "по сличению", периодичности функционирования и др. — будет сказано во второй части очерка.

Вторая из названных выше определяющих черт рецепторики как участника кольцевого координационного процесса — *объективность* — имеет настолько важное принципиальное значение, что на ней необходимо остановиться более подробно.

В той сигнальной (пусковой или тормозной) роли, которая одна только и могла быть замечена при анализе рефлексов по схеме незамкнутой дуги и которая повела к обозначению всего комплекса органов восприятия в центральной нервной системе термином *"сигнальная система"*, от афферентной функции вовсе не требуется доставления объективно верных информаций. Рефлекторная система будет работать правильно, если за каждым эффекторным ответом будет закреплен свой неизменный и безошибочно распознаваемый пусковой сигнал — код. Содержание этого кода, или шифра, может быть совершенно условным, нимало не создавая этим помех к функционированию системы, если только соблюдены два названных сейчас условия. То, что подобный индифферентизм центральной нервной системы к смысловому содержанию сигнала не является каким-то странным, чисто биологическим феноменом, а заложен в самом существе сигнально-пусковой функции, лучше всего доказывается тем, что такими же условными кодированными сигналами безукоризненно осуществляются все необходимые включения и переключения в телеуправляемых автоматах. Можно построить два совершенно одинаковых автомата (самолет-снаряд, мотокатер и т.п.) с одинаковыми моторами, рулями, схемами их радиореле и т.д. и, не внося никаких конструктивных различий, сделать при этом так, чтобы на радиокоды А, Б, В, Г первый отвечал реакциями 1, 2, 3, 4, а второй — реакциями 4, 2, 1, 3 или как угодно иначе.

Совершенно иными чертами характеризуется работа рецепторной системы при несении ею контрольно-координационных функций по ходу решаемой двигательной задачи. Здесь степень *объективной верности* информации является решающей предпосылкой для успеха или неуспеха совершаемого действия. На всем протяжении филогенеза животных организмов естественный отбор неумолимо обусловливал отсев тех особей, у которых рецепторы, обслуживавшие их двигательную активность, работали, как кривое зеркало. В ходе онтогенеза каждое столкновение отдельной особи с окружающим миром, ставящее перед собой требующую решения двигательную задачу, содействует, иногда очень дорогой ценой, выработке в ее нервной системе все более верного и точного *объективного отражения* внешнего мира как в восприятии и осмыслении побуждающей к действию ситуации, так и в проектировке и контроле над реализацией действия, адекватного этой ситуации. Каждое смысловое двигательное отправление, с одной стороны, необходимо требует не условного, кодового, а объективного, количественно и качественно верного отображения окружающего мира в мозгу. С другой стороны, оно само является

активным орудием правильного познания этого окружающего мира. Успех или неуспех решения каждой активно пережитой двигательной задачи ведет к прогрессирующей шлифовке и перекрестной выверке показаний упоминавшихся выше сенсорных синтезов и их составляющих[1], а также к познанию через действие, *проверке через практику*, которая является краеугольным камнем всей диалектико-материалистической теории познания, а в разбираемом здесь случае служит своего рода биологическим контекстом к ленинской теории отражения[2].

Проведенное на предшествующих страницах сопоставление двух родов функционирования воспринимающих систем организма, пока еще столь неравных по давности их выявления наукой и по степени изученности, позволит осветить несколько по-новому и некоторые черты механизма действия "классических" сигнальных процессов включения или дифференцировочного торможения рефлекторных реакций.

Еще задолго до того, как телемеханика подтвердила существенную принципиальную *условность*[3] пусковых или переключательных кодов, этот же факт был установлен на биологическом материале знаменитым открытием И.П. Павлова. Факт, что любой раздражитель из числа доступных восприятию может быть с одинаковой легкостью превращен в пусковой сигнал для того или другого органического (безусловного) рефлекса, оказался в дальнейшем чрезвычайно универсальным.

Как показали последующие работы павловской школы (А.Д. Сперанский), во всем комплексе физиологических функций, вплоть до самых, казалось бы, недосягаемых глубинных процессов гормонального или клеточно-метаболического характера, нет ни одного отправления, которое не могло бы быть подсоединено (в принципе одним и тем же методом) к любому пусковому раздражителю. Этот замечательный индифферентизм нервных систем к содержанию и качеству пусковых сигналов был отмечен И.П. Павловым уже в самом начальном периоде изучения открытого им круга явлений. Об этом свидетельствует и наименование, данное раздражителям, вновь искусственно прививаемым к стволам старых прирожденных рефлексов, — *условные* раздражители. Название, предложенное В.М. Бехтеревым, — сочетательные раздражители и рефлексы — менее глубоко в отношении внутреннего смысла явлений, но зато вплотную подводит к схеме их механизмов, которая к нашему времени уяснилась уже вполне отчетливо.

Для превращения любого надпорогового агента в условный пусковой раздражитель того или другого органического рефлекса требуется всегда обеспечение двух условий: 1) главного — встречи или сочетания в пределах обычно небольшого

---

[1] Бесспорный факт существования в центральной нервной системе человека *нескольких* качественно различных между собой сенсорных синтезов не противоречит сказанному об объективности мозговых отражений и находит достаточное объяснение в физиологии координации движений.

[2] "Господство над природой, проявляющее себя в практике человечества, есть результат объективно верного отражения в голове человека явлений и процессов природы, есть доказательство того, что это отражение (в пределах того, что показывает нам практика) есть объективная, абсолютная, вечная истина" (*Ленин В.И.* Сочинения. Изд. 4-е. Т. 14. С. 177).

[3] *Условность* в обсуждаемом плане, *не требуя* объективности, разумеется, не исключает ее и не противоречит ей. К тому же сделанное здесь противопоставление и разграничение сигнально-пусковой и коррекционной функций рецепторов намеренно проведено более резко и альтернативно, чем это имеет место в физиологической действительности, где, несомненно, оба вида функционирования могут и налагаться друг на друга во времени, и переходить один в другой.

интервала времени этого агента с реализацией данного рефлекса и 2) побочного — некоторого числа повторений такого сочетания. Первое из этих условий прямо относит разбираемый феномен к циклу *ассоциаций по смежности,* как раз характеризующихся безразличием к смысловому содержанию ассоциируемых представлений или рецепций. Интересно отметить, что для преобразования индифферентного раздражителя в условнопусковой существенно совмещение его с *эффекторной,* а не с афферентной частью безусловного рефлекса, которая мобилизуется в типовом эксперименте только как средство заставить сработать эффекторную полудугу. Это доказывается, например, фактом осуществимости так называемых условных рефлексов второго порядка, когда индифферентный раздражитель приобретает пусковые свойства для данного рефлекса, несмотря на то что эффекторная часть последнего запускается в действие не безусловным, а ранее привитым к рефлексу условным же раздражителем первого порядка.

Другое доказательство сказанного можно усмотреть в том, что в методах, применяемых при дрессировке, поощрительное подкрепление "безусловным" афферентным импульсом подкормки животного производится *после* правильного выполнения им требуемого действия по соответствующей условной команде и не является при этом безусловным пусковым раздражителем дрессируемого действия. Эта недооценивавшаяся раньше деталь заслуживает внимания в настоящем контексте потому, что образование ассоциативной связи в мозгу между условным *афферентным* процессом и *эффекторной* частью рефлекса, как нам кажется, можно осмыслить, только если эффекторная реализация рефлекса отражается (опять-таки по кольцевой обратной связи) назад в центральную нервную систему и может уже сочетаться ассоциативно с афферентным же процессом условного раздражения. Это могло бы послужить еще одним подтверждением того, что возвратно-афферентационные акты как непоредственные соучастники процесса и в классических рефлексах — "дугах" — не отсутствуют, а лишь пока ускользают от наблюдения.

Вторoe из условий образования условной связи, названное выше побочным, а именно надобность некоторого числа повторных сочетаний, было бы трудно объяснить сейчас иначе, как необходимостью для подопытной особи выделить прививаемую новую рецепцию из всего хаоса бомбардирующих ее извне воздействий. Число повторений должно оказаться достаточным для того, чтобы определилась *неслучайность* совмещения во времени интеро- или проприоцепции реализующего рефлекса именно с данным элементом всей совокупности экстерорецепций. В этом смысле — в отношении необходимого и достаточного числа повторений — раздражитель, индифферентный по своему смысловому содержанию, может оказаться относительно труднее и длительнее вычленяемым как могущий не привлечь к себе интереса и внимания ("ориентировочной реакции") особи. Старую наивно-материалистическую концепцию о постепенных "проторениях" путей или синаптических барьеров в центральной нервной системе можно уже считать сданной в архивы науки[1].

---

[1] Если какая-либо индифферентная рецепция раз за разом, без пропусков сопутствует во времени тому или иному безусловному процессу, например интерорецепции слюноотделения и т.п., то так называемая вероятность a posteriori того, что это совмещение не случайно, сама по себе растет очень быстро и уже после десятка повторений весьма мало отличается от единицы. Но для образования замыкания необходимо еще, чтобы сам индифферентный раздражитель и факт постоянства совмещения обеих стимуляций привлекли к себе внимание, т.е. процессы активной рецепции особи.

В нескольких словах заслуживает упоминания факт, который и в свете новых приобретений регуляционной физиологии продолжает оставаться неясным. Структура почти всех изучавшихся условных сочетаний такова, что к органической, *безусловной эффекторной* полудуге прививается новый *условный афферентный* пусковой сигнал. Разнообразие как безусловных эффекторных процессов, так и афферентных "позывных", которые могут быть привязаны к первым, совершенно безгранично; но неизвестно почти ни одного случая, который обнаружил бы *обратную* структуру условной связи: прицепление нового условного эффекторного окончания к безусловной афферентной полудуге. До некоторой степени случаи такого обратного типа наблюдались в давнишних опытах М.Е. Ерофеевой (1912), но сам И.П. Павлов[1], цитировавший их в своих "Лекциях о работе больших полушарий", сопровождает их описание рядом ограничений и оговорок. Как бы ни был объяснен в дальнейшем такой "структурный парадокс", ясно, что инертная неизменяемость именно эффективной полудуги реально осуществимых условно-двигательных рефлексов чрезвычайно затрудняет использование их структурного механизма для обучения незнакомым движением, образования и усовершенствования двигательных навыков и сноровок и т.п.

Рассмотрение вопроса о сигнальных кодах и их сочетательной роли в аспекте регуляционной физиологии способно, как нам кажется, по-новому осветить вопрос о так называемой *второй сигнальной системе.* Из всего проанализированного выше ясно, что при ничем не ограниченном разнообразии возможных условносигнальных кодов в их число могут входить и речевые фонемы, вовсе не образуя *в этой своей роли* какого-либо особого класса и нуждаясь, как и все раздражения, пригодные для роли сигналов, только в воспринимаемости и разпознаваемости. Никто не приписывал собаке, медведю, морскому льву, кошке обладание второй сигнальной системой или архитектоническими полями, гомологичными полю Вернике человека. Между тем любое из этих животных (даже не сплошь "высших" млекопитающих) дрессируется на словесные сигналы с такой же легкостью, с какой образуются у них условные замыкания и дифференцировки на другие виды раздражений. Эти фонематические сигнальные коды, ничем существенным не выделяющиеся из других кодов, могли генетически у первобытного человека явиться зародышами фонем — приказов, своего рода рудиментарными повелительными наклонениями, из которых впоследствии эволюционировали речевые формы глагола[2].

С другой стороны, *назывательные* элементы речи, из которых у человека сформулировалась категория *имен,* никогда не несли и не могли, разумеется, нести какой-либо сигнальной функции в определенном выше смысле. Поэтому трактовка "второй сигнальной системы" как системы словесного отображения *предметов* (вообще первичных рецепций внешних объектов, образующих по этой концепции в совокупности "первую сигнальную систему"), что полностью проявляется и в составе словника, применяемого в экспериментах по так называемой речедвигательной

[1] *Павлов И.П.* Полное собрание сочинений. М.; Л.: Изд-во АН СССР. 1947. Т. IV. С. 43—45.

[2] Должен оговорить, здесь, во-первых, что в сказанном не заключается никакой попытки предрешить *хронологический порядок,* в каком у первобытного человека могли возникнуть и формироваться глагольные и номинативные категории речи, и, во-вторых, что я оставлю совершенно в стороне известные языковедам явления *вторичного* приобретения номинативными элементами примитивных языков побудительно-сигнальных значений.

методике, представляется результатом глубоко ошибочного смешения двух резко различных физиологических функций и речевых категорий. *Слова как сигналы* не образуют никакой особой системы и в роли пусковых фонем полностью доступны многим животным, еще чрезвычайно далеким от функции речи. *Слова и речь как отражение внешнего мира* в его статике (имена) и динамике действий и взаимодействий с субъектом (глаголы, суждения) действительно образуют систему, доступную и свойственную только человеку. Но обозначать *речь*, достигшую этой ступени значения и развития, как *сигнальную* систему, — значит подменять ее одним из самых несущественных и рудиментарных ее проявлений[1].

Идея второй сигнальной системы, несомненно, явилась одним из следствий упоминавшегося выше методологического ущерба, понесенного физиологией из-за признания ею одной только сигнально-пусковой роли рецепторики и недооценки ее важнейших биологических и социальных функций: познавания через действие и регуляции активного воздействия на окружающий мир. Знак равенства, ставившийся между понятиями рецепции и сигнала, вынуждал относить к категории сигналов и перципируемое слово. Между тем нельзя было пройти мимо огромного качественного своеобразия речи как специфически присущего виду Homo sapiens символического отображения воспринимаемого мира и себя самого в нем. Упоминавшаяся уже выше терпимость к атомизму легко позволила зато пройти мимо *структурности* речи (делающей ее не скоплением слов, а орудием мышления) и трактовать ее как сумму слов — сигналов преимущественно конкретно-предметного содержания.

Отечественная физиология сумела избегнуть другой, гораздо более важной гносеологической ошибки, в которую легко впадали многие мыслители западного мира и которая также целиком проистекает из одностороннего понимания рецепторной функции: от несомненного факта примиримости безукоризненного функционирования рефлекторных приборов с полной условностью вызывающих их сенсорных кодов очень легко соскользнуть на путь признания символичности всяких вообще рецепций, условности картины мира в мозгу и психике, непознаваемости объективной реальности и прочих идеалистических концепций, давно ниспровергнутых подлинной наукой.

* * *

Перейдем к уточненному анализу механизмов двигательной координации у высших организмов, имея в виду две задачи: 1) извлечь из этого анализа максимум доступных на сегодняшний день указаний на общие закономерности механизмов управления и 2) попытаться выявить, в чем состоит то своеобразие моторики высших животных, в особенности человека, которое резко качественно отграничивает ее действия и ресурсы от всего того, чего мы можем ожидать от автоматной техники сегодняшнего и, вероятно, даже завтрашнего дня. Мне неизбежно придется касаться многих пунктов, в свое время уже подробно проанализированных (Бернштейн, 1946, 1947). Во избежание неуместных повторений я в настоящем очерке буду излагать их

[1] К сказанному стоит добавить, что построение автомата-робота, способного к пониманию *речи*, для сегодняшней техники — задача совершенно безнадежная. Робот же, способный дифференцированно реагировать на несколько разных подаваемых ему голосов словесных приказов-фонем, может быть уже теперь создан без каких-либо принципиальных затруднений.

как можно более кратко, лишь для соблюдения непрерывности логической линии изложения. Здесь будет более правильным постараться дополнить и углубить затрагивавшиеся там вопросы, преимущественно касающиеся основных, принципиальных механизмов координационного управления, попутно исправляя ошибки, выяснившиеся к настоящему времени.

Первое резкое биомеханическое отличие двигательного аппарата человека и высших животных от любого из искусственных самодействующих устройств, неоднократно подчеркивавшееся, состоит в огромном, выражающемся трехзначными числами количестве доступных ему *степеней свободы* как кинематических, зависящих от многозвенности его свободно сочлененных кинематических цепей, так и эластических, обусловленных упругостью движущих тяг — мышц и отсутствием в силу этого однозначных отношений между мерой активности мышц, ее напряжением, длиной и скоростью ее изменения. Для уяснения того, как осложняет управление движением каждая лишняя степень свободы, ограничусь здесь двумя примерами.

Судно на поверхности моря имеет три степени свободы (если пренебречь движениями качки), но практически достаточным является управление *одной*-единственной степенью — направлением, или *курсом*, так как на морских просторах, если судно, отклоненное чем-нибудь от курса, восстановит прежнее *направление*, то ему нет необходимости возвращаться на старую *трассу* и вполне достаточно продолжать путь параллельно ей, в паре кабельтовых в ту или другую сторону. Эта задача успешно решается компасным автопилотом. Но представим себе автомобиль, который должен ехать по *шоссе ограниченной ширины*, автоматически выполняя все встречаемые кривизны и повороты. Здесь управлению практически подлежат *всего две степени* свободы его подвижности.

Анализ показывает, что независимо от способа получения машинной информации о ходе шоссе (относительно, например, его средней линии), будут ли они восприниматься фото-, электро-, механорецепторами и т.д., блок-схема такого автомата рулевого управления, способного вести автомобиль по изгибам шоссе, удерживая его близ средней линии, должна содержать: 1) рецептор расстояния от линии с его знаком, 2) рецептор угла между осью машины и средней линией с его знаком, 3) рецептор фактической кривизны пути, 4) суммирующий смеситель и 5) систему регуляторов для гашения паразитных "болтаний" машины в ту и другую сторону от курса. Столько осложнений вносится в проблему автоматизации всего одною лишней степенью свободы. Насколько мне известно, автомат подобного рода еще никогда не был создан.

Полезно отметить, что огромная трудность его осуществления отнюдь не в сигнализации или устройстве рецепторов названных типов: то и другое имеется и сейчас на вооружении автоматики. Вся трудность состоит в организации *центральной перешифровки* информаций, получаемых на входе от фотоэлементов или магнитных реле, в качество, силу и последовательность импульсов, управляющих сервомоторами рулевого аппарата.

Второй пример для сопоставления приведу из области нормальной координации движений человека при нормальной работе всех его афферентных органов и лишь в условиях необычной двигательной задачи. Прицепите спереди к пряжке своего пояса верхний конец лыжной палки, на конце, несущем колесико, прикрепите груз в 1—2 кг, а к колесику справа и слева привяжите по резиновой трубке достаточной

длины для того, чтобы можно было взять концы каждой в правую и левую руку. Направив палку острием вперед, станьте перед вертикальной доской, на которой крупно начерчен круг, квадрат или иная простая фигура, и постарайтесь, манипулируя только потягиванием за резиновые трубки, обвести острием палки начерченную фигуру. Палка изображает здесь одно звено конечности с двумя кинематическими степенями свободы, трубки — аналоги всех мышц-антагонистов, привносящих в систему еще две упругие степени свободы. Этот опыт (очень демонстративный при его показе в аудитории) убедит каждого, испробовавшего его в роли исследуемого, какая нелегкая и малопослушная для координирования вещь — всего четыре степени свободы, когда к услугам человека, даже находящегося во всеоружии всех своих рецепторов, не имеется моторного опыта, приобретаемого по отношению к костно-мышечному двигательному аппарату с самых первых недель жизни.

Определение координации, данное мной в упоминавшихся работах, кажется мне и сейчас наиболее строгим и точным. *Координация движений есть преодоление избыточных степеней свободы движущегося органа, иными словами — превращение его в управляемую систему.* Короче, координация есть *организация управляемости* двигательного аппарата. В основном определении с намерением говорится не о закреплении, протормаживании и т.п. избыточных степеней свободы, а об их *преодолении.* Как показали экстенсивные работы с детьми (см. очерк 6-й), фиксация, устраняющая упомянутый избыток, применяется как наиболее примитивный и невыгодный путь лишь в самом начале осваивания двигательного умения, сменяясь затем более гибкими, целесообразными и экономичными путями преодоления этого избытка *через организацию* всего процесса. Какую преобладающую роль может играть именно организация регуляционных взаимодействий даже в нехитром случае управления только двумя степенями свободы, мог показать уже наш первый пример с автопилотажем вдоль шоссе.

В своих работах о построении движений и частично в предыдущих очерках этой книги я подробно останавливался на причинах, создающих биодинамическую необходимость организованных по кольцевому принципу механизмов двигательной координации, и на некоторых обнаруженных наблюдением чертах тех физиологических процессов контрольного взаимодействия, которые обеспечивают координационное руководство движением при посредстве сенсорных синтезов разных уровней построения. Там было показано, какое огромное место в ряду непредусмотримых и практически неподвластных сил, требующих непрерывного восприятия и преодоления, занимают наряду с внешними силами *реактивные силы,* неизбежно возникающие при движениях в многозвенных кинематических цепях органов движения и усложняющиеся в огромной прогрессии с каждым лишним звеном сочленовной цепи и с каждой новой степенью свободы подвижности. Не затрагивая здесь более этой чисто биодинамической стороны проблем, обратимся к вопросу, оставшемуся в тени в названных выше работах, но все более назревающему в ходе современного развития физиологической мысли. Если двигательная координация есть система механизмов, обеспечивающая *управляемость* двигательного аппарата и позволяющая утилизировать с уверенностью всю его богатую и сложнейшую подвижность, то что можно сказать к настоящему времени о путях и механизмах самого *управления* двигательными актами? В каких отношениях могут уловимые для нас в настоящее время закономерности этого

управления оказаться полезными для интересов прикладной кибернетики (бионики) и какие из сторон или свойств этих закономерностей отсеются как наиболее специфические для нервных систем высших животных и человека и поэтому наиболее способные осветить ту пропасть, которая пока еще (и, видимо, надолго) качественно разделяет достижения автоматики от реализующейся в двигательных актах жизнедеятельности высокоразвитых организмов?

Предварительно нужно вкратце остановиться на некоторых вопросах терминологии и попытаться систематизировать известные на сегодняшний день принципиальные схемы саморегулирующихся устройств (в дальнейшем для краткости мы будем обозначать этот термин первыми буквами — СУ) с интересующих нас проблемных позиций.

Все системы, саморегулирующиеся по какому-либо параметру, постоянному или переменному, обязаны, как минимум, содержать в своем составе следующие элементы:

1) *эффектор* (мотор), работа которого подлежит регулированию по данному параметру;

2) *задающий элемент,* вносящий тем или другим путем в систему *требуемое значение* регулируемого параметра;

3) *рецептор,* воспринимающий *фактические* текущие *значения* параметра и сигнализирующий о них каким-либо способом в прибор сличения;

4) *прибор сличения,* воспринимающий *расхождение* фактического и требуемого значений с его величиной и знаком;

5) *устройство, перешифровывающее* данные прибора сличения в коррекционные импульсы, подаваемые по обратной связи на регулятор;

6) *регулятор,* управляющий по данному параметру функционированием *эффектора.*

Вся система образует, таким образом, замкнутый контур взаимодействий, общая схема которого дана на рис. 55. Между перечисленными элементами нередко бывают включены не имеющие принципиального значения вспомогательные устройства: усилители, реле, сервомоторы и т.п.

Для значений регулируемого параметра очень удобными представляются краткие термины, применяемые немецкими авторами; ими целесообразно пользоваться и у нас. *Требуемое* значение будет в последующем тексте обозначаться *Sw* (от немецкого Sollwert), *фактическое* значение — *Iw* (Istwert), *расхождение* между тем и другим, воспринимаемое элементом *4*, точнее говоря, избыток или недостаток *Iw* над *Sw* (*Iw–Sw*) — символом Δw.

В примере, приводимом Wiener по идее его партнера Rosenbluth, координационное управление жестом взятия видимого предмета со стола рассматривается как непрерывная оценка уменьшения того куска пути, какой еще остается пройти кисти руки до намеченного предмета. При всей правомерности обозначения места предмета как *Sw*, текущего положения кисти — как *Iw,* а планомерно убывающего расстояния между ними — как переменной $\Delta w = (Iw - Sw)$ я должен пояснить здесь же, что и выше, и в дальнейшем рассматриваю координационный процесс в *микроинтервалах* пути и времени, опираясь на данные, собранные за годы работы моей и моих товарищей. Поэтому в рамках настоящего очерка я рассматриваю как переменный *Sw весь непрерывный запланированный путь, или процесс движения* органа, а как *Iw* — фактически текущие координаты последнего. В связи с этим Δw в настоящем контексте — это пороговомалые

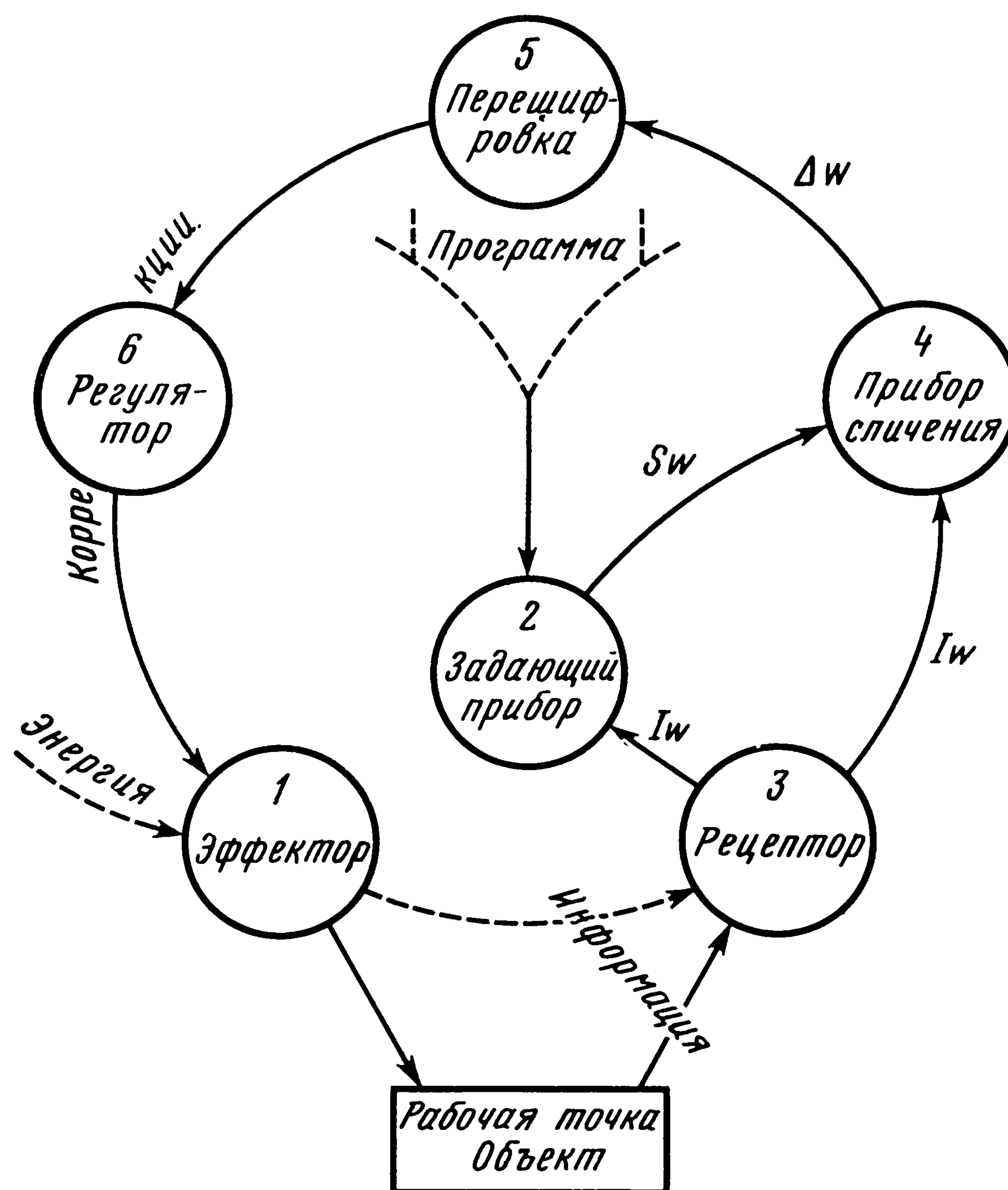


Рис. 55. Простейшая блок-схема аппарата управления движениями

отклонения, корригируемые более или менее исправно *по ходу движения*. Примером их могут служить отклонения линии, проводимой от руки карандашом или острием планиметра, от начерченной линии, которую требуется обвести. В нашем смысле, следовательно, Δw есть не планомерно убывающая макродистанция, а колеблющаяся, то возникающая, то погашаемая с тем или иным успехом малая величина переменного знака и направления.

Центральным командным постом всей кольцевой системы СУ является, конечно, ее задающий элемент *2*. По характеру задаваемого им Sw все мыслимые виды СУ разделяются на два больших класса: СУ с фиксированным, постоянным значением Sw (так называемые стабилизирующие системы) и СУ с меняющимися по тому или другому принципу значениями Sw (следящие системы). Закон хода изменений задаваемого Sw принято именовать программой функционирования СУ. Смена последовательных этапов реализации программ может быть скачкообразной или непрерывной и являться в разных случаях функцией времени, пути рабочей точки мотора — эффектора, промежуточного результативного этапа и т.д. В наиболее сложных и гибких системах могут переключаться, сменяя одна другую, и сами программы.

Наиболее примитивные по своим функциям *стабилизирующие системы* представляют в нашем аспекте наименьший интерес, хотя напоминающие их по типу

рефлекторно-кольцевые регуляции можно встретить и среди физиологических объектов. Технические примеры подобных систем многочисленны, начиная с центробежного регулятора скорости паровых машин, изобретенного еще Watt. Биологическим примером может служить прессо-рецепторная система стабилизации артериального давления, подробно экспериментально изучавшаяся с этой точки зрения Wagner (1954). Двигательный аппарат организма во всех своих отправлениях и по самому существу биодинамики двигательных процессов организован по принципу СУ *следящего типа* с непрерывной программной сменой последовательных регуляционных *Sw* в каждом конкретном случае того или иного движения.

Все элементы простейшей схемы кольцевого управления, содержащиеся в нашем перечне и в составе чертежа (см. рис. 55), обязательно должны иметься в том или другом виде и в органических регуляционных системах, в частности в системе управления движениями. Наши познания об этих структурных элементах живого двигательного аппарата очень неравномерны. О физиологических свойствах и даже о нервных субстратах элементов *5* и *6* мы совершенно ничего не знаем. Движущие элементы *1*, моторэффекторы наших движений — скелетные мышцы, наоборот, принадлежат к числу объектов, наиболее глубоко и обстоятельно изученных физиологией и биофизикой. Работа элемента *3* схемы — рецепторного комплекса — изучена подробно, но односторонне, как было показано в первой части очерка, и в нашем аспекте содержит в себе еще чрезвычайно много невыясненных сторон. Здесь я попытаюсь подытожить в последовательном порядке то, что можно высказать как утвердительно, так и предположительно (с порядочной степенью вероятности) о физиологическом облике элементов *2, 4* и *3* схемы управления двигательными актами, и попутно постараюсь отметить как очередные в этой области те вопросы, к которым мы уже подходим вплотную, но которые еще очень далеки сейчас от своего решения. Начать этот обзор следует с "командного пункта" схемы — с задающего элемента *2*.

Каждое осмысленное, целенаправленное движение возникает как ответ на двигательную задачу, определяющуюся прямо или косвенно совокупной ситуацией. В том, каким именно двигательным актом индивид (животное или человек) наметит решение этой задачи, заложен и корень той или другой программы, которая будет реализоваться задающим элементом. Что же представляет собой такая программа управления движением и чем она управляется в свою очередь?

В книге "О построении движений" (1947) я подробно останавливался на том, как возникают и как возвратно действуют на движение сенсорные коррекции. Здесь надлежит коснуться другого вопроса: *что именно* они корригируют и *что* может направлять ход и сущность этого корригирования.

Наблюдение над простейшими движениями из категории "холостых" (проведение прямой линии по воздуху, показ точки и т.п.) может создать впечатление, что ведущим принципом программной смены *Sw*, по которым реализуются коррекции движения, является геометрический образ этого движения: соблюдение прямолинейности, если требовалось провести прямую, соблюдение направления, если нужно было показать пальцем точку, и т.д. Между тем в таком суждении содержится ошибка принятия частного за общее. В названных видах движений корригирование действительно ведется по геометрическому образу, но только потому, что именно в этом и заключается здесь поставленная задача. Уже во втором из наших примеров геометрический ведущий элемент движения сжимается в одну точку в поле зрения, и

достаточно познакомиться с циклографическими записями движений показа пальцем точки, выполненных с оптимальной точностью и ловкостью, чтобы убедиться, что N повторных жестов одного и того же субъекта было выполнено по N не совпадающих между собой траекторий, собирающихся, как в фокус, только близ самой целевой точки показа. Значит, геометрический принцип корригирования ограничивается тем возможным по смыслу минимумом протяжения, движения, который существенно необходим, уступая в остальных частях движения место каким-то другим ведущим принципам. А в том, что они, несомненно, имеются в каждом микроэлементе жеста показа, убеждает уверенность и быстрота его протекания (сравните с жестом атактика!), а также завершение его безупречным попаданием в цель.

Ошибка "принятия частного за общее" становится очевидной, как только мы переключимся от движений, геометрических по смыслу задания, к двигательным актам других типов. Если взять под наблюдение относительно простые целевые двигательные акты из числа тех, которые повторяются много раз и в связи с этим поддаются так называемой автоматизации, то можно убедиться, что обусловливающая их двигательная задача (обычная или спортивная локомоция, трудовой процесс и т.п.) начинает разрешаться достаточно удовлетворительно во много раз раньше, чем движение автоматизируется и стабилизируется до значительной геометрической стандартности повторений, в очень многих случаях уже с первых проб. Таким образом, кинематический двигательный состав акта, его геометрический рисунок, отнюдь не является той обязательной инвариантой, которая обусловливала бы успех выполняемого действия. Если же от простейших и часто повторяемых двигательных актов перейти к более сложным, нередко цепным, предметным действиям, связанным с преодолеванием внешних переменных условий и сопротивлений, то широкая вариативность двигательного состава действия становится уже всеобщим правилом.

Неизбежен вывод, что, говоря макроскопически о программе двигательного акта в целом, мы не находим для нее другого определяющего фактора, нежели образ или представление того результата действия (концевого или поэтапного), на который это действие нацеливается осмыслением возникшей двигательной задачи. Как именно, какими физиологическими путями может образ предвидимого или требуемого эффекта действия функционировать как ведущий определитель двигательного состава действия и программы отправлений задающего элемента, — это вопрос, на который еще и не начал намечаться сколько-нибудь конкретный и обоснованный ответ. Но какой бы вид двигательной активности высших организмов, от элементарнейших действий до цепных рабочих процессов, письма, артикуляции и т.п., ни проанализировать, нигде, кроме смысла двигательной задачи и предвосхищения искомого результата ее решения, мы не найдем другой ведущей инварианты, которая определяла бы от шага к шагу то фиксированную, то перестраиваемую на ходу программу осуществления сенсорных коррекций.

Привлечение мной для характеристики ведущего звена двигательного акта понятия образа или представления результата действия, принадлежащего к области психологии, с подчеркиванием того факта, что мы еще не умеем назвать в настоящий момент физиологический механизм, лежащий в его основе, никак не может означать непризнания существования этого последнего или выключения его из поля нашего внимания. В неразрывном психофизиологическом единстве процессов планирования

и координации движений мы в состоянии в настоящее время нащупать и назвать определенным термином психологический аспект искомого ведущего фактора, в то время как физиология, может быть, в силу отставания ее на фронте изучения движений (о котором было сказано выше), еще не сумела вскрыть его физиологического аспекта. Однако ignoramus не значит ignorabimus. Уже самое название настоящего очерка подчеркивает, что его задачей в большей мере было поставить и заострить еще не решенные очередные вопросы, нежели ответить на поставленные раньше.

В 8-й главе упомянутой книги был дан подробный разбор того, как и под действием каких причин оформляется и стабилизируется двигательный состав многократно выполняемого действия при образовании так называемого двигательного навыка путем упражнений. В порядке короткого извлечения подчеркну здесь, что даже в таких однообразно повторных актах изменчивость двигательного рисунка и состава вначале бывает очень большой, и более или менее фиксированная программа находится, а тем более осваивается упражняющимся не сразу.

Самая суть процесса упражнения по овладению новым двигательным навыком состоит в постепенно ведущем к цели искании оптимальных двигательных приемов решения осваиваемой задачи. Таким образом, правильно поставленное упражнение повторяет раз за разом не то или другое *средство решения* двигательной задачи, а *процесс решания* этой задачи, от раза к разу изменяя и совершенствуя средства. Сейчас уже для многих очевидно, что "упражнение есть своего рода повторение без повторения" и что двигательная тренировка, игнорирующая эти положения, является лишь механическим зазубриванием — методом, давно дискредитированным в педагогике[1].

Несколько более конкретно можно высказаться относительно *микроструктуры* управления непрерывно текущим двигательным процессом. В какой бы форме ни конкретизировался ход перешифровки общей ведущей директивы образа предвосхищаемого решения в детализированные элементы *Sw* направления скорости, силы и т.д. каждого предельно малого (точнее, пороговомалого — см. ниже) отрезка движения, неоспоримо, что в низовые инстанции задающего комплекса поступают именно раздетализированные подобным микроскопическим образом *Sw*. Нужно отметить, что столкновение каждой текущей проприоцепции (в широком или функциональном смысле понятия) с очередным мгновенным направляющим значением *Sw* выполняет минимум три различные, одинаково важные для управления нагрузки.

Во-первых, та или иная мера расхождения между *Iw* и *Sw* (Δw) определяет, проходя через кольцевую схему, те или другие коррекционные импульсы. Об этой стороне процесса скажем более подробно при обсуждении "элемента сличения" *4*. Во-вторых, в рецепции — информации о том, что такой-то очередной пункт реализации двигательного акта достигнут, содержится и побудительная импульсация к переводу или переключению *Sw* на следующий очередной микроэлемент программы. Эта

[1] В спортивно-гимнастических упражнениях двигательный состав (так называемый стиль) входит как неотъемлемая часть в смысловую сторону осваиваемой задачи. Поэтому здесь необходима пристальная забота тренера об определенном оформлении и быстрейшей стабилизации двигательного состава у учащегося, но это ни в чем не противоречит высказанному выше положению о правильной постановке упражнения.

сторона функционирования более всего напоминает то, что обозначается П.К. Анохиным (1949) термином "санкционирующая афферентация".

Наконец, в этой же текущей рецепции содержится и третья сторона, по-видимому, одно из тех явлений, которые всего труднее поддадутся модельному вопроизведению. В каждом двигательном акте, связанном с преодолеванием внешних неподвластных и изменчивых сил, организм беспрестанно сталкивается с такими нерегулярными и чаще всего непредвидимыми осложнениями, сбивающими движение с намеченной программой дороги, которые невозможно или крайне нецелесообразно осиливать коррекционными импульсами, направленными на восстановление во что бы то ни стало прежнего плана движения. В этих случаях рецепторная информация действует как побудитель к приспособительной перестройке самой программы "на ходу", начиная от небольших, чисто технического значения переводов стрелки движения на иную, рядом пролегающую трассу и кончая качественными реорганизациями программы, изменяющими самую номенклатуру последовательных элементов и этапов двигательного акта и являющимися, по сути дела, уже принятиями новых тактических решений. Такие переключения и перестройки программ, по данным рецепторных информаций, гораздо более часты, чем можно подумать, так как во многих случаях они осуществляются низовыми координационными уровнями, не привлекая на помощь сознательного внимания (с этим согласится каждый ходивший хотя бы раз в жизни не по паркету).

В книге "О построении движений" (1947) подробно изложено, как при организации и освоении двигательного акта многочисленные виды и ранги коррекционных процессов распределяются между взаимодействующими "фоновыми" уровнями координационного управления. Как было там сформулировано, то, что мы называем *автоматизацией* двигательного акта, есть постепенно осуществляющаяся передача многочисленных технических (фоновых) коррекций в нижележащие координационные системы, сенсорные синтезы которых организованы наиболее адекватно для коррекций именно данного рода и качества. Общее, почти не знающее исключений правило об уходе из поля сознания всех слагающих процессов коррекционного управления, кроме прямо относящихся в ведущему уровню данного двигательного акта, и явилось причиной придания такой поуровневой разверстке коррекций наименования автоматизации. Здесь полезно будет подчеркнуть, что имеющая место у высших организмов (а в наибольшей мере у человека) столь разносторонняя и богато сенсорно оснащенная иерархическая система координационных уровней, способных в порядке кольцевого управления как к реализации, так и к мгновенным смысловым перестройкам разнообразнейших программ движения, является, видимо, в равной степени и следствием громадного упоминавшегося ранее обилия степеней свободы двигательного аппарата (который только такая сложная система и способна сделать управляемым), и биологической причиной того, что организмы, владеющие столь мощным центральным аппаратом управления движениями, могли безопасно для себя формировать в филогенезе органы движения, наделенные без счета степенями кинематической и динамической свободы подвижности.

Теперь следует обратиться к элементу *4* схемы, приведенной на рис. 55. Этот элемент — прибор сличения (как он был там условно обозначен) — представляет собой интереснейший и пока глубоко загадочный физиологический объект, однако уже вполне созревший для того, чтобы поставить на очередь его систематическое изучение.

Как и во всех искусственно создаваемых СУ, кольцевая регуляция нуждается в элементе, сопоставляющем между собой текущие значения *Iw* и *Sw* и передающем в следующие инстанции регуляционной системы ту оценку их расхождения между собой (Δw), которая и служит основой для подачи на периферию эффекторных коррекционных импульсов. Не будь налицо подобного функционального элемента в координационной системе мозга, последняя в одних только рецепциях *Iw* самих по себе не могла бы найти никакой почвы для включения каких бы то ни было коррекций. Здесь мы сразу сталкиваемся с совершенно своеобразным процессом, при котором сличение и восприятие разницы производится *не между двумя рецепциями,* симультанными или сукцессивными (как, например, при измерениях порога различения какого-либо рецептора), а между *текущей рецепцией* и представленным в какой-то форме в центральной нервной системе *внутренним руководящим элементом* (представлением, энграммой и т.п., мы еще не знаем точно), вносящим в процесс сличения значение *Sw.* И в этом процессе имеют место своеобразные пороги "по сличению", как их можно было бы назвать. В простейших случаях они очевидны и легко доступны измерению. Таковы, например, пороги наступления вестибулярно-зрительной коррекционной реакции на начавшееся отклонение велосипедиста с его машиной от вертикальности; пороги, характеризуемые началом коррекции движения карандаша, отклонившегося от воображаемой прямой, которую требуется провести между точками на бумаге; пороги вокального управления, которые можно определить по звуковой осциллограмме обучающегося пению, стремящегося выдерживать голосом ноту неизменной высоты, и т.п. Но наиболее интересные и своеобразные черты обсуждаемого прибора вскрываются дальше.

Одним из важных элементов контроля над двигательными процессами является рецепция текущих переменных *Iw скорости.* Тахометры искусственных СУ бывают построены по различным принципам, всегда, однако, привлекающим к делу какую-либо физическую величину, доступную прямому аппаратурному замеру и связанную со скоростью однозначной зависимостью (силу трения, сопротивление якоря на пружине, увлекаемого магнитным полем, и т.п.). Для нас существенно, что рецепторных приборов, способных к *непосредственному восприятию* скорости, не имеется и в наших организмах. Но эта задача решается в центральной нервной системе совершенно особым образом и явно при помощи либо того же самого прибора сличения, либо его ближайшего гомолога. Рецепция текущего мгновенного положения движущегося организма сопоставляется в нем *со свежим следом* такой же рецепции мгновенного положения, имевшего место Δt времени назад. Величину Δt можно даже ориентировочно оценить порядком 0,07—0,12 с, как я постараюсь обосновать ниже.

Если всмотреться в протекание синтетических рецепторных процессов самого различного рода, то вышеназванный феномен *свежих следов* (условно обозначим его этим термином) предстанет как нечто, по-видимому, чрезвычайно универсальное и обладающее фундаментальной значимостью. При зрительном восприятии движения мы не могли бы перципировать *не только скорость,* но и *направление* этого движения, если бы процесс восприятия не базировался на непрерывном *сличении* текущих рецепций со свежими следами едва прошедших. Когда мы воспринимаем слухом мелодию или слово, перципируются не только отдельные последовательные элементы — звуки, но также временное течение мелодической линии или временной рисунок фонемы вместе с их темпом. Мы качественно разно ощущаем секвенцию

тонов, идущую вверх, от идущей вниз, фонему "ва" от фонемы "ав" и т.д. Если при закрытых глазах я почувствую, что по моей коже провели линию палочкой, то восприму не просто и не только места, на которые она последовательно надавливала, но и *направление, и скорость* ее движения по коже как два отдельных *качества,* ощущаемые как нечто совершенно первичное. Этой своей синтетичной, слитой первичностью, а также тем, что они: а) качественно во всем подобны "сырым" рецепциям и б) держатся в активной форме только в течение малых долей секунды, "свежие следы" резко отличаются от обычных явлений *памяти* — орудия длительного сохранения центрально переработанных представлений.

Управление движением требует в ряде случаев непрерывного восприятия не только текущих *значений* расхождения (Δw), но и *скорости,* с которой нарастают или убывают эти расхождения. Как справедливо отметил Wagner, часто, например, в случаях небольших, но быстро нарастающих отклонений Iw, управлению принесет наибольшую пользу именно рецептор скорости изменений Δw, способный чутко реагировать на самое начало развития вредного отклонения еще раньше, чем успеет стать надпороговой сама абсолютная величина этого отклонения. Неоспоримый факт способности наших сенсорных сигналов также откликаться различно на разные скорости изменений Δw говорит о том, что и в обсуждаемом приборе сличения феномен "свежих следов" может иметь место, обусловливая процесс сопоставления уже не Iw с Sw, а свежего следа их разности (Δw), имевшейся доли секунды тому назад, со значением этой разности сейчас. Говоря математически, это процесс воприятия производной $d(\Delta w)/dt$.

Несомненно, что процессы восприятия скоростей и направлений, процессы сопоставлений Iw и Sw с их "свежими следами" по всем качествам рецепции и т.п. протекают фактически *не непрерывно,* не по дифференциалам времени dt, а по каким-то конечным малым интервалам Δt, которые следовало бы назвать пороговомалыми. В их основе лежат значения особого рода порогов — *временных,* видимо, находящихся в близком физиологическом сродстве как с порогами, характеризуемыми скоростью психомоторных реакций, так и с физиологическими параметрами группы лабильности, рефрактерности, константы адаптации и т.п. и требующих, конечно, безотлагательного пристального изучения. Нет сомнения, что уже сейчас психофизиологи — специалисты по органам чувств — будут в состоянии дополнить и исправить высказанное по поводу "свежих следов" важными для освещения вопроса материалами[1]. Я же хотел бы в порядке рабочей гипотезы изложить здесь следующие соображения.

Еще в 30-х годах М.Н. Ливанов нашел, что амплитуды пиков бета-волн на электроэнцефалограммах заметным образом изменяют свою величину от вершин к впадинам альфа-волн, как бы модулируясь последними, что могло свидетельствовать о каких-то периодических колебаниях возбудимости корковых элементов, протекающих в ритме альфа. Walter (1954) отметил, что нижний пороговый предел

[1] В частности, на очередь ставится естественный вопрос о том, в каком отношении стоят механизмы "свежих следов" к психофизиологическим механизмам всей обширной категории энграммирования и памяти. Данные последних лет со все возрастающей убедительностью говорят о сложности и многоликости той биологической первостепенной по значимости категории процессов, которые обеспечивают запечатление, хранение и передачу информации. Дальнейшие исследования покажут, насколько особняком стоят феномены "свежих следов" от других, ранее изучавшихся видов запечатлевающей функции, каковы их анатомо-физиологические субстраты и т.д.

частоты слияния мельканий, киноизображений и т.д. в зрительном аппарате близко совпадает с частотой альфа-ритма, даже индивидуально меняясь параллельно с последней. Не случайным кажется, что нижний порог частоты, уже сливаемой слухом в специфическое сенсорное качество звука, лежит в той же полосе частот. Далее, еще не опубликованные ориентировочные наблюдения В.С. Гурфинкеля над держанием и движением незагруженной руки, а также циклограмметрические наблюдения Л.В. Чхаидзе (1956) над ритмами импульсов ускорений стоп велосипедиста[1] указывают в полном взаимном согласии на чередование обнаруживающихся тут и там коррекционных импульсов в рамках все той же частотной полосы альфа 8—14 Гц.

Не будет ли правильным думать, что эта частота есть проявление ритмических колебаний возбудимости всех или главных элементов рефлекторного кольца СУ нашего двигательного аппарата, несомненно, нуждающихся во взаимной синхронизации по ритму? Тогда мы могли бы видеть в ней и основу упомянутой выше разбивки сенсорного и координационного процессов на пороговомалые интервалы Δt, разделяющие промежутками частичной рефрактерности моменты обостренной восприимчивости, которая удерживает мгновенное впечатление *Iw* в виде "свежего следа" до следующего такого же взлета возбудимости.

Распространенность альфа-волн по всей мозговой коре с особым преобладанием в рецепторных зонах и их синхронность по всему этому протяжению могут как будто также говорить в пользу сделанного предположения. Тогда мы могли бы рассматривать альфа-ритм как механизм, задающий координационным процессам их временной определяющий параметр, своего рода *Sw* времени, а интервалы Δt — как отсчеты внутреннего, физиологического маятника, являющегося для этих процессов тем, что британские физиологи называют pace-maker. Нельзя не подчеркнуть, конечно, что вне всякой зависимости с тем, связан ли этот pace-maker с альфа-ритмом или нет, физиологическое значение его как важнейшего регуляционного фактора и неотложная необходимость его метрического изучения и определения его связей с такими психофизиологическими показателями, как время простой реакции, личное уравнение и т.п., неоспоримы.

Мне остается остановиться вкратце еще на одной важной черте координационного процесса, самым тесным образом связанной с феноменом "свежих следов" и параметром Δt.

В процессах управления движениями встречаются ситуации, при которых большую, иногда решающую важность имеют коррекции предвосхищающего, антеципирующего характера, становящиеся особенно заметными в тех случаях, когда на протяжении какого-то отрезка движения коррекции следящего типа становятся вообще невозможными. Существует целый класс таких двигательных актов (так называемые баллистические движения), осуществление которых только и возможно посредством подобной антеципации: метание с попаданием в цель (бросание камня, копья, всевозможные игры с мячом и т.д.), перепрыгивание через ров или высотное препятствие, размашной удар тяжелым молотом и т.д.

Нельзя не заметить аналогичных антеципаций и в ряде таких двигательных актов, где они необходимо соучаствуют с коррекциями обычного следящего типа. Это возможные *движения с упреждением,* подобные тем, которые производят гончие,

[1] Выражаю признательность В.С. Гурфинкелю и Л.В. Чхаидзе за сделанные мне персональные сообщения.

преследуя зверя, делающего "угонки", и устремляясь не к видимому мгновенному положению жертвы, а наперерез к предвосхищаемой или экстраполируемой точке пересечения траекторий их бега. Таковы же бесчисленные случаи схватывания рукой движущегося предмета, "пятнания" мячом убегающего партнера, подстановки ракетки под подлетающий мяч или шарик пинг-понга и многие другие. Mittelstaedt (1954) прямо предлагает разграничивать оба типа коррекций, рассматривая их как два равноценных по значению класса, обозначаемые им как Regelung и Steuerung. В настоящем контексте более важно другое.

Существование и встречаемость — гораздо более частая, чем кажется с первого взгляда, — коррекций предваряющего типа заставляет обратить внимание на то многостороннее значение, какое имеют антеципации для реализации какого бы то ни было целенаправленного двигательного акта. Уже само его программирование, определяемое, как было показано выше, осмыслением возникшей двигательной задачи, представляет собой предвосхищение как требующегося результата ее решения, так и тех двигательных средств, которые понадобятся для этого (последнее хотя бы в самых общих чертах).

На подобном же "заглядывании в будущее" целиком базируется и огромный класс психофизиологических процессов, носящих название *установки,* лишь к последнему времени достигшей признания всей ее значимости. Так же как при анализе отправлений задающего комплекса *2* мы обнаружили в нем иерархические ранги (уровни построения), начиная от организующих программу двигательного акта в ее целом и до уровня, уточняющего "микро-Sw" от мгновения к мгновению или от Δt к Δt, так и сейчас мы не можем пройти мимо факта, что, в сущности, для того, чтобы обеспечивать выполнение микропрограммных элементов и вести за собой управляемый двигательный процесс, последование задаваемых Sw должно все время *идти впереди фактического движения,* опережая его хотя бы на пороговомалые отрезки времени Δt, но уже достаточные для того, чтобы нарушенное этим равновесие (между достигнутым Iw и влекущим дальше Sw) обеспечивало динамику устремления к конечному результату. Таким образом, говоря полуфигурально, текущая микрорегуляция движения развертывается все время между настоящим моментом t и границами интервала от $t-\Delta t$ ("свежие следы") до $t+\Delta t$ (опережение Sw).

Очерк девятый

УПРАВЛЕНИЕ, КОДИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В ФИЗИОЛОГИИ[1]

История естествознания и техники богата примерами того, как изменения, наступавшие в состоянии производительных сил и производственных отношений, приводили к изменениям основных точек зрения, отправных пунктов, которыми начинала направляться исследовательская мысль и изобретательская работа. Ярким примером такого сдвига исходных научных и технических позиций может послужить переворот, ознаменованный вступлением в строй в конце XVIII в. па-

[1] Очерк был помещен в качестве предисловия в книге В.Д. Моисеева "Вопросы кибернетики в биологии и медицине" (М.: Медгиз, 1960).

ровой машины и характеризовавшийся в физике и технике расцветом энергетики, бурно развивавшейся на протяжении всего XIX в., а в физиологии — заменой *механистического* направления, господствовавшего в XVIII в. (развитие декартовых идей о рефлексе, биомеханика Борелли, разработка механики кровообращения Кене, "человек-машина" Ламетри и др.), концентрацией внимания на *биоэнергетике*: на изучении обмена веществ, развитии биологической химии, работах по теории пищеварения, дыхания, вегетативных функций внутренних органов и т.д. Такая смена отправных пунктов вела к перегруппировке взаимоотношений между отдельными научными дисциплинами и к появлению новых, не предвидевшихся дотоле сближений между ними, как показывает приведенный уже пример срастания химии и биологии в новую науку — биохимию, немыслимую для предшествовавшего столетия.

Весь XIX век прошел под знаменем энергетики, находившей в технике все новые и новые ресурсы в виде тепловых двигателей и электроэнергии, сделавшей доступными бесчисленные даровые природные источники "белого", "голубого" и всяких других символических расцветок "угля". В физиологии этот период, о главных объектах изучения которого было уже упомянуто, характеризовался двумя очень отчетливо выраженными отправными пунктами, или принципами, явно подсказывающимися самими методиками исследования и уровнем знаний о физиологических процессах: 1) изучением организма в покоящихся, равновесных состояниях и 2) аналитическим исследованием отдельных элементарных, искусственно изолированных функций.

Первая черта проявилась в выборе тех состояний, в каких преимущественно изучался организм. По линии химизма исследовался обмен покоя ("основной метаболизм"), тщательно изучались процессы дыхания, кровообращения, работа сердца, почек и других органов также в состояниях покоя, без рабочих нагрузок организма. Например, для изучения нервной и нервно-мышечной физиологии животное обезглавливали, или децеребрировали перерезкой ствола мозга, или по меньшей мере наркотизировали.

Второй отличительный признак стиля физиологических работ XIX в. — аналитическое вычленение и изолированное изучение элементарных функций нерва, мышцы, внутреннего органа, рецептора — казался вполне естественным методическим приемом для первоначального исследования ("синтез придет по окончании анализа"), но в действительности неосознаваемо опирался на атомизм, органически присущий механистическому образу мышления материалистов XIX в. Твердо подразумевалось, что целое есть всегда сумма своих частей и ничего более, что любую сложную функцию всегда возможно реконструировать как сумму определенных микрофункций, последовательных или одновременных. Каждое чувственное восприятие — это сумма элементарных ощущений, а каждая целостная, целесообразная реакция животного организма — такая же сумма элементарных рефлексов. Такой подход определял все направление психофизиологии — центрировал исследовательскую работу на изучении свойств нервно-мышечного препарата или же изолированных, полупассивных ответов покоящегося подопытного животного на задаваемые ему изолированные же раздражения.

Текущий век характеризуется все яснее осознаваемым и формулируемым новым сдвигом отправных позиций и центров интереса, и опять-таки этот сдвиг кладет свой решающий отпечаток и на технику, и на естествознание (в частности, на

биологию и физиологию) и приводит к перегруппировкам и сближениям между собой наук, в отношении которых эта возможность часто и не помышлялась раньше. На этом сдвиге следует остановиться более подробно.

По мере прогрессировавшего роста производственных мощностей все более осложнялась и требовала все большего внимания задача *управления* этими громадными мощностями. С одной стороны, человеческой мышечной силы зачастую становилось уже недостаточно для такого управления. Ее заменяли либо пассивными искусственными направляющими (например, рельсы для управления направлением хода поезда), либо особыми машинами, получившими в наше время наименование сервомоторов, которым перепоручались, например, повороты гигантских многотонных рулей океанских судов. С другой же стороны, становилось в принципе все более ясным, что выработка механической энергии и целесообразное управление ею — это две совершенно раздельные задачи, которые в сложных машинах требуют не только раздельных, специализированных устройств, но нередко и независимых источников энергии для каждой из этих функций, например электрическое или пневматическое управление работой паровой машины и т.п.

"Всадник" — управление — оказался и более сложной, и более важной проблемой, нежели "конь" — источник рабочей энергии. Необходимость разобраться в этой проблеме еще сильнее подкреплялась нараставшей потребностью в *самоуправляющихся* (автоматических) устройствах и машинах и увеличением числа изобретенных и удовлетворительно действовавших автоматов. Одни из них обеспечивали устойчивое поддержание какого-то определенного, необходимого режима работы машины, другие, более сложные, могли без вмешательства человека осуществлять смены режимов по той или другой *программе*, включать и выключать последовательно разные механизмы и орудия и т.д.

Перед наукой об управлении встала *проблема регуляции*. Как устроены и как должны быть устроены автоматы, регулирующие и поддерживающие устойчивый или программно-изменяемый ход работы машины? И здесь обнаружилось, что, во-первых, каждое устройство подобного рода должно иметь какой-то *воспринимающий элемент*, способный подать сигнал неблагополучия, отклонения режима от требуемого уровня (например, в простейшем из автоматов — термостате — термометр, сигнализирующий о начавшемся отклонении температуры), и, во-вторых, передачу с этого элемента к управляющему *регулятору*, заставляющую этот регулятор изменять ход или мощность машины (в нашем примере — силу нагрева термостата) как раз в требующемся для выравнивания направлении.

Уже на этом уровне развития технической теории автоматики не могло не броситься в глаза разительное функциональное сходство с жизнедеятельностью организмов как в отправлениях отдельных элементов автоматной схемы, так и в самом ее построении. Воспринимающий элемент — это точный аналог органа чувств. К тому же стремительное развитие электротехники все более обогащало список датчиков, вырабатывая подобия органов осязания, зрения (фотоэлементы), слуха (микрофоны) и др. Сигнализация с датчика к регулятору аналогична нервному сигналу по афферентному нерву, реакция же регулятора воспроизводит чисто физиологическое явление рефлекса.

Неожиданное сближение физиологии с техникой на почве вновь возникшей проблематики управления и регуляции оказалось плодотворным и для физиологии, так как технические аналогии помогли ей по-новому осветить ряд процессов внут-

ренней регуляции. В каждом физиологическом отправлении, требующем стабильного поддержания той или иной величины или уровня (например, артериального давления, содержания в крови сахара или двуокиси углерода и т.п.), обнаруживался датчик-рецептор (например, каротидный синус и т.п.), нервная передача в центр и эффекторный сигнал оттуда на периферию, обеспечивающий выравнивание начавшегося и просигнализированного отклонения. Общий с регуляторами-автоматами принцип заключается в том, что то или иное действие исполнительного органа, например сокращение мышц артериальной стенки по импульсу из центра, не является концом процесса: результат совершившегося действия немедленно воспринимается датчиком-рецептором и сообщается им по *обратной связи* в центр. Если исполнительный орган сработал в смысле регуляции неправильно, недостаточно или же чрезмерно, то сигнал с рецептора по обратной связи немедленно побудит центр соответственно усилить или умерить свою импульсацию, послать корригирующие импульсы и т.д., пока, наконец, сообщения с периферии от рецептора не засвидетельствуют полного выравнивания нарушения. С новым нарушением процесс выравнивания возобновится.

В физиологии все ярче обнаруживается большая универсальность такой кольцевой схемы регуляции с помощью обратной связи. В ряде функций, где для менее углубленного взгляда прежних физиологов реакция организма исчерпывалась, казалось, однократным рефлексом, оборванным на конце незамкнутой рефлекторной дуги, новый, более точный и пристальный подход выявляет непрерывающийся (по крайней мере, на протяжении того или иного промежутка времени) *кольцевой процесс управления,* в котором каждый очередной элемент *действия* (мышечного сокращения, секреции и т.п.) немедленно *контролируется рецептором,* выверяется и корригируется из центра новым элементом действия и т.д.

Раз начавшиеся сближение и взаимопомощь биологии и техники не ограничивались одними только механизмами регуляции. Аналогии, способные помочь как физиологической теории, так и технической практике, стали выявляться и в ряде других направлений.

Каждый сигнал с датчика-рецептора, для того чтобы произвести требуемое целенаправленное действие, должен обладать определенным смысловым содержанием, как сейчас говорят, нести в себе какую-то *информацию.* В редких случаях эта информация осуществляется в наиболее привычной нам словесной форме (например, передача команды по телефону). Гораздо же чаще, а в автоматике вообще всегда она оформляется в виде определенного условного шифра или *кода,* например в форме того или иного следования импульсов одного вида в известном ритме (реже — чаще, в одиночку или группами и пр.) или двух стандартных видов (например, точки и тире в азбуке Морзе) и др. Если в автомат, например в управляемый издали самолет, лодку и т.п., вмонтированы рецептор сигналов и дешифратор кодов, то такой автомат сможет выполнять дифференцированно и безошибочно большое число закодированных команд.

Но теперь привлекает внимание следующая аналогия с физиологическими процессами. Ведь по чувствительным нервным проводникам с периферии тела в головной мозг не передаются непосредственно прямым образом теплота или холод от кожных рецепторов температурной чувствительности, свет — от палочек и колбочек сетчатки по зрительным нервам и т.п. Нервные импульсации в афферентных волокнах, легко регистрируемые с помощью современной техники, не содержат в себе

ничего похожего ни на свет, ни на теплоту, ни на механическую силу натяжения (действующего на проприорецепторы), а лишь определенные последовательности пиков биоэлектрических потенциалов действия, насколько мы можем судить при сегодняшнем уровне экспериментальной техники. К тому же вследствие взрывного характера электрохимических процессов, лежащих в основе этих пиков, и обусловливаемого им закона "все или ничего" все пики цепочки импульсов одиночного нервного волокна равны по величине, так что разнообразиться и отличаться между собой такие цепочки импульсов могут только по частоте и ритму. Между тем ясно, что именно эти цепочки импульсов обеспечивают восприятие всех качеств окружающего мира — и света, и цветов, и звуковых тонов, и всего богатства кожных, обонятельных, вкусовых, кинестетических ощущений. Очевидно, что эта богатейшая чувственная информация о внешнем мире сообщается нашему мозгу закодированной в виде импульсных цепочек. Каким образом мозг ее расшифровывает (декодирует), есть ли специфическое различие нервных сигналов от зрительного, слухового, осязательных и других рецепторов и в чем оно состоит — это задачи, которые еще предстоит разрешить физиологии завтрашнего дня.

Так или иначе определялась еще одна важная точка аналогий и сближений между биологией и техникой: проблема передачи информаций и информационных кодов. Понятие кода в биологии приходится трактовать и применять очень широко. Помимо нервных импульсов, команды, создаваемые, например, химическими стимуляторами и тормозными веществами (медиаторами), тоже несут с собой информацию и тоже в своеобразно закодированном виде.

То же приходится сказать о важнейших, высокодифференцированных регуляторах организма — продуктах желез внутренней секреции. Ядерные хромосомы, химическая структура которых начинает постепенно уясняться в наше время, принимают участие какими-то еще крайне загадочными путями в развитии из одной оплодотворенной яйцевой клетки организма, обладающего сложнейшим агрегатом органов и тканей, подобного организмам предков. По-видимому, в химической структуре тех гигантских белковых цепочечных молекул, из которых построены хромосомы, закодирована информация, необходимая и достаточная для построения всех органов тела с их тончайшими гистологическими строениями и целесообразной взаимосвязью.

Наконец, разве сама наша речь, наш основной способ взаимного обмена информацией, не представляет собой высокоразвитой системы условных кодов в форме звуков разной высоты и тембра в случае устной, и комбинацией, из тридцати или сорока фигурок — знаков (букв, цифр и др.) в случае письменной и печатной речи?

Чтобы покончить с просмотром хотя бы главнейших из ныне вскрывающихся соответствий и аналогий, отметим, что и принцип релейных связей и сервомеханизмов, находящий все более широкое применение в современной технике управления и связи, точно так же оказался играющим важную роль в физиологических отправлениях организма. Когда рулевой океанского судна одной рукой вращает небольшое штурмовое колесцо, мощная паровая или электрическая сервомашина послушно повторяет все его действия, поворачивая тяжелый руль, отстоящий к тому же на пару сотен метров от штурманской рубки. Но когда импульсация с переднероговой клетки спинного мозга, передаваемая в мышцу по двигательному нерву и по своей мощности измеряемая долями микроватта, вызывает тетаническое сокращение мышцы, реализующее ее внутреннюю рабочую мощность в десятки

ватт, то вся картина такой же точно релейной передачи оказывается налицо и здесь.

Для физиологов и медиков не столь важно, какую пользу извлекают для себя из всех подобных параллелей инженеры, утверждающие, однако, что углубленное ознакомление с физиологией очень обогащает их изобретательскую мысль. Но для биологов из таких аналогий и сопоставлений проистекает по крайней мере двоякая польза.

Во-первых, все они открывают пути к построению *математической теории* и формулировки явлений, что всегда прогрессивно и что предрекали будущей физиологии корифеи отечественной науки. Такие математически разработанные теории обратной связи, функции передачи, кольцевых процессов и т.д. уже созданы и способствуют переводу биологической дисциплины на рельсы точной науки. Во-вторых, каждая подобная нащупанная аналогия представляет собой путь к созданию проверочной исследовательской модели, к так называемому *моделированию* физиологических процессов. О разностороннем значении моделирования как для физиологической теории, так и для медицинской практики мы скажем еще несколько слов ниже.

Усложнение и рост мощностей машин, управляемых человеком, явились на рассматриваемом этапе причиной (малозаметной, но бесспорной) глубоких сдвигов, совершающихся в отправных пунктах и центрах преобладающего интереса науки о жизнедеятельности человека. Значение изолированного ручного труда стало падать. Все более выдвигалась на первый план роль человека как основного звена в сложном производственном процессе, в управлении сложнейшими машинами, а также в использовании самоуправляющихся устройств.

Резко изменились и подходы к изучению физиологических процессов по сравнению с уже охарактеризованными позициями прошлого века. Прежде всего вместо организма в покое выдвинулся в качестве более важного объекта организм в работе. Возникли физиология труда, психотехника, педагогика труда и т.д. Естественно, что физиология труда начала с изучения процессов грубой физической работы, а методически не могла сразу сойти с прежних, "классических" позиций энергетического изучения труда: газообмена при физической работе, кислородного долга, химического баланса крови, восстановительных процессов и т.д. Но потребности жизни не позволили ей длительно задержаться на этом этапе и властно звали ее к включению в новую *проблематику управления и связи.*

Вторая черта, с неменьшей неизбежностью начавшая проявляться в новой физиологии, — это изучение целостной деятельности человека. Стало очевидным, что если по отношению к отправлениям покоя можно еще, на худой конец, удовлетворяться изучением их по частям, дробя организм на отдельные частные функции и не покидая позиций атомизма, то во всех активных проявлениях жизнедеятельности организм выступает как настолько неделимое целое, что искусственное дробление становится просто невозможным. Действительно, в координированных, целенаправленных двигательных актах на первый план неустранимо выступают регуляции движения по обрисовавшейся уже обратной связи, по афферентным сигналам как мышечно-суставных проприоцепторов, так и органов осязания, зрения, лабиринтов и т.д. Шейно-туловищные рефлексы тонуса и мускулатуры ног обеспечивают ручному рабочему процессу устойчивый или подвижный фундамент позы. Таким образом, львиная доля как мускулатуры, так и рецепторного осна-

щения неразрывно соучаствует в любом двигательном действии, если только это в самом деле смысловое действие, а не бесцельный двигательный обрывок.

Такая же неразрываемая связь афферентации и эффекторики, периферии и центра проявляется и во всякого рода активных процессах структурирования. На низших животных — амфибиях — это было установлено экспериментально на явлениях регенерации. На высших млекопитающих опыт школ П.К. Анохина, Э.А. Асратяна, Bethe и др. показал значение, которое имеет для восстановления функций, их воспитания и перестройки вся совокупность афферентной информации, текущей с периферии организма к центру, и, следовательно, выявили и здесь наличие неразрывной целостной взаимосвязи центра и периферии.

Исследования школы А.Д. Сперанского обнаружили ту же картину неразрывной целостности и в патологических перестройках организма, открыв этим совершенно новые пути и перспективы для хирургии. Невозможно перечислить все направления, по которым стал разрабатываться *подход к организму как к неделимому целому,* не пассивно взаимодействующему, *а активно и целенаправленно воздействующему на окружающий мир.*

На этом этапе дает себя знать разница мировоззрений и целей между западным, капиталистическим, и нашим, социалистическим, миром. Точку зрения, отчетливо проявляющуюся во многих зарубежных публикациях на обсуждаемую тему, можно было бы изложить примерно так: человек есть пока еще (к сожалению!) неустранимое звено в цепи рабочего процесса управления или связи. Изучать его в рабочих состояниях необходимо, во-первых, и прежде всего для того, чтобы заменять его аналогичным искусственным устройством (роботом) везде, где и как только возможно. Конечная задача и идеал — вытеснить живого рабочего из производственного процесса вообще.

Во-вторых, поскольку покамест в этом процессе имеются такие звенья, которые могут быть замещены только человеком, постольку необходимо пристальное изучение его ресурсов и его недостатков в интересах рационализации рабочего процесса. Главные минусы человеческой машины: 1) медленность реакций и действий; 2) грубость порогов рецепторов и отсутствие органов чувств для ряда форм энергии (электричество, магнетизм, ультразвук и т.п.); 3) утомляемость; 4) возможность ошибочных действий. Необходимо, с одной стороны, организовать рабочий процесс так, чтобы четыре перечисленных минуса были в возможно большей степени обезврежены, а с другой стороны, точно определить диапазоны оптимумов человеческого организма и наилучшие условия для их использования: оптимальную освещенность, слышимость, рабочую позу и т.п.

Если вторая половина изложенной сейчас позиции — определение слабых сторон организма работающего человека и обеспечение для него оптимальных условий работы — вполне приемлема и для нас, то первая — систематическое вытеснение человека из производственного процесса с подстановкой на его место робота — идеологически враждебна нашему мышлению и абсолютно непригодна для нас. У нас нет каких-либо возражений против автоматизации. Бесспорно, прогрессирующая автоматизация производства имеет своей другой стороной возрастающую интеллектуализацию труда, освобождение человека от пут более грубой, доступной машинам работы, открывающее ему дорогу к более тонкой и углубленной работе мышления. Но для нашей страны и для всех социалистических стран, строящих новый мир без эксплуатации, человек есть прежде всего хозяин производ-

ственного процесса, его создатель, и создатель именно с тем условием, чтобы этот процесс реализовал его сознательную волю и служил его потребностям.

В этих условиях полное вытеснение человека из рабочего процесса означало бы застой и омертвение последнего, ибо робот не умеет творить и изобретать.

Наша отечественная физиология и медицина обязаны подхватить все то новое и прогрессивное, что появилось в развитии зарубежной науки наших дней и в чем мы в ряде отношений пока ощутимо технически отстали от Запада. Но необходимо наполнить это новое иным целевым содержанием и использовать поражающие новые технические возможности медицины (в частности, ортопедии и хирургии) в целях борьбы за оздоровление, раскрепощение и обогащение всеми доступными возможностями человека во всей совокупности его деятельности по подчиненению себе природы.

Теперь следует сказать несколько слов о другом аспекте сближения и взаимного переплетения между собой биологии и техники, аспекте, несомненно, обогащающем как ту, так и другую сторону. Мы имеем в виду *моделирование.*

Особый интерес к моделированию как необходимое практическое следствие аналогизирования между объектами биологии и техники отмечался в XVII—XVIII столетиях, в эпоху уже упоминавшегося расцвета теоретической механики и биологического механицизма. История науки сохранила нам сведения о садовых статуях Франчини, помещенных в парке Фонтенбло и совершавших несколько различных шуточно-озорных действий: грозивших пальцем, когда гуляющие приближались к ним с одной стороны, и окатывавших их водой из шланга, когда они подходили с другой. Декарт признавался, что именно они навели его на общую идею рефлекса. Кенэ демонстрировал гидравлическую модель кровообращения по Гарвею; Вокансон построил утку, которая глотала шарики "пищи", имитировала их разжижение и всасывание в желудке и даже извергала испражнения. К сожалению, многие сведения об автоматах этого рода из той эпохи безвозвратно утеряны: в пору свободного предпринимательства и отсутствия законов по ограждению авторских прав изобретатели слишком боялись конкуренции и похищения их изобретений и старательного засекречивали их.

Так или иначе из того, что нам известно, видно, что уже в XVIII в. моделирование жизненных процессов переросло первоначальные, часто развлекательные задачи (им поневоле отдал свою дань еще Леонардо да Винчи) и определило свою цель как чисто исследовательскую, как попытку познать и проверить в активном эксперименте свою трактовку тех или иных физиологических процессов.

В XIX в. интерес к моделированию временно заглох. После Великой французской революции стало уже некого забавлять игрушками, а выдвинувшиеся на первый план проблемы биоэнергетики были связаны с изучением явлений, которые при тогдашнем уровне техники не так-то легко было моделировать. На переживаемом нами ныне этапе развития науки о жизни и жизнедеятельности моделирование возродилось вновь и, будучи подкреплено всеми могучими ресурсами технической химии и электроники, разрослось в настолько широкую область, что уже появилась необходимость в классификационном расчленении и анализе ее в зависимости от многообразных целей и задач. Остановимся вкратце на обзоре выявившихся к настоящему моменту главных классов технико-биологических моделей.

Первый и, может быть, наиболее интересный для физиологов и клиницистов класс моделей можно было бы обозначить как *эвристический,* характеризуемый чисто

исследовательскими задачами. Именно к этому классу относятся механические модели XVIII в., хотя их создатели и не достигли еще точного формулирования принципов, определяющих исследовательское значение их конструкций.

Одно из самых ранних, если вообще не первое, определение того принципа, который в наше время кладется уже вполне сознательно в основу моделей этого рода, мы находим у гениального И.М. Сеченова в его раннем произведении "Рефлексы головного мозга" (1862). Он писал: "Мысль о машинности мозга при каких бы то ни было условиях для всякого натуралиста клад. Он в свою жизнь видел столько разнообразных причудливых машин, начиная от простого винта до тех сложных организмов, которые все более и более заменяют собой человека в деле физического труда; он столько вдумывался в эти механизмы, что если поставить перед таким натуралистом новую для него машину, закрыть от его глаз ее внутренность и показать лишь начало и конец ее деятельности, то он составит приблизительно верное понятие и об устройстве этой машины, и об ее действии"[1]. В таком именно положении находится физиолог по отношению к организму, в частности к головному мозгу.

Пользуясь полуобразными терминами, встречаемыми в современной англо-американской литературе и постепенно прививающимися и у нас, можно сказать, что "закрытая от глаз внутренность машины" мозга заключена в непроницаемый "черный ящик" (black box), в отношении которого нам доступны только: все то, что поступает в этот "черный ящик" через его входы (inputs), и вся совокупность его активности, прибывающей из его глубин на выходы (outputs)[2].

Но если по отношению к "самой причудливой машине в мире" (И.М. Сеченов) — мозгу — никакой инженерной опытности не может быть достаточно, чтобы чисто мыслительным путем постигнуть из сопоставления "входных" и "выходных" процессов его внутренние, скрытые от нас механизмы, то можно и перспективно пойти другим путем. Мы задаемся *рабочей гипотезой* об устройстве того внутреннего механизма, который, по нашему представлению, обусловливает наблюдаемые нами явления "выхода" в связи с данными воздействиями на "входы". Мы воплощаем эту рабочую гипотезу в *вещественную модель* и наблюдаем, как она будет функционировать.

Если функциональные соотношения "входных" и "выходных" явлений модели не смогли воспроизвести тех, какие регистрируются на живом объекте, то гипотеза опровергнута, но мы все же обогащены хотя бы отрицательным опытом. Если же модель имитирует жизненные явления и соотношение входно-выходных процессов верно, то это, правда, еще не подтверждает полностью правильности исходной гипотезы (не исключено, что подобные же соотношения входа—выхода могли бы реализоваться каким-нибудь другим механизмом), но все же сильно повышает правдоподобность исходной гипотезы и открывает путь к тому, чтобы, постепенно и осторожно надстраивая и усложняя экспериментальную модель и наблюдая за ее отправлениями и реакциями, добиваться понемногу расширения и уточнения круга выполняемых ею функций. Либо исходная гипотеза будет опровергнута на

[1] *И.М. Сеченов.* Рефлексы головного мозга. СПб, 1866. С. 11—12.

[2] Единственные данные, какие мы можем на сегодня получать изнутри "черного ящика" (мозга), — регистрируемые через черепные стенки электроэнцефалографические потенциалы еще совершенно не поддаются смысловой расшифровке.

каком-то этапе работы с моделью, либо вероятность того, что данный внутренний механизм "черного ящика" разгадан, будет все время возрастать и укрепляться.

Вот, в сущности, весь тот краткий методический кодекс, который определяет цель и назначение экспериментального моделирования и правильное обращение с последним. Главная опасность на исследовательском пути — это увлечение внешней подражательностью, впечатляющей эффектностью поверхностного сходства всех этих многочисленных электрочерепах и магнитомышей, демонстрируемых и описываемых в популярной литературе на Западе, часто с намеренным засекречиванием их рабочей схемы. Отсюда лишь один шаг к воскрешению развлекательных автоматов XVII—XVIII вв., шаг, очень малоплодотворный для прогресса подлинной физиологической науки.

Упомянув здесь о том, что не внешняя эффектная наглядность является тем главным, чего должно добиваться истинное эвристическое моделирование, скажем попутно, что в наше время определился один характерный подкласс эвристических моделей, иногда вовсе не воплощаемых в вещественный механизм. Если рабочей гипотезой является, например, дифференциальное уравнение или система таковых, предназначаемых для характеристики количественной стороны того или другого биологического явления, то построение и проверочные решения таких уравнений тоже представляют собой своеобразное моделирование, хотя математическая "модель" явления или процесса до самого конца остается только на бумаге. Часто непреодолимые в прежнее время трудности решения тяжеловесных и многочисленных задач подобного рода сейчас преодолены созданием автоматических вычислительных машин как непрерывного, так и цифрового типов. Ряд задач, например по теории пульсовой волны, структуре и значению элементов электрокардиограммы, пневмодинамике дыхательного процесса и др., успешно "моделируется", изучается и проверяется при посредстве этих машин без обращения к услугам токаря и электротехника.

Теперь следует сказать несколько слов о группе *моделей* уже не исследовательского, а чисто *практического назначения*. Эта группа распадается на два больших класса, имеющих большой практический интерес и значение для медицины (ценности и значимости моделей этих классов для инженерно-технических задач мы здесь касаться не будем).

В *первый* из этих двух *классов* входит вся *практическая автоматика,* в которой моделирующее воспроизведение тех или других функций живого организма имеет непосредственной задачей временную или длительную *замену* организма или его части искусственным устройством. В области чистой производственной техники сюда относятся все автоматы, целиком замещающие человека в каком-либо звене рабочего процесса. Их история начинается еще с прошлого века, когда были придуманы автоматы, действующие по типу реакции, простой или с выбором: автоматы для продажи марок, билетов, шоколада, для размена металлических денег, автоматы, реагирующие на начало пожара сигналом или включением заливательного устройства, и др.

Бурные темпы изобретения новых видов датчиков и развития усилительной техники привели к широкому разрастанию списка автоматов по сортировке и браковке (с "органами чувств" самого разнообразного рода), выполнению сложного производственного процесса ("поточные линии"), управлению работой станков, контролю на расстоянии и т.п. — автоматики, интенсивно внедряемой сейчас

в многочисленные отрасли отечественной промышленности. Ценность всех автоматов описываемого класса как раз в преодолении ими тех "узких мест" человеческого организма, которые перечислялись выше: в доступной автоматам высокой чувствительности рецепторов, скорости, неутомляемости и застрахованности от ошибочных реакций.

В медицинской области список автоматов и полуавтоматов рассматриваемого класса растет и пополняется с каждым днем (именно здесь нашей медицинской помышленности надлежит приложить все усилия к дальнейшему быстрому развитию и усовершенствованию производства автоматов и полуавтоматов). Сюда относятся, во-первых, протезы всех видов: ушные протезы, возмещающие утраченный слух обходным путем, например через вибрационную кожно-костную чувствительность, энергично разрабатываемые "читающие машины" для частичного возмещения зрения слепым, наконец, активные, очувствленные датчиками и моторизованные протезы, возмещающие функции ампутированных конечностей. Нельзя не отметить обгоняющих США передовых достижений по ручным протезам рабочей группы Московского института протезирования, руководимой А.Е. Кобринским и В.С. Гурфинкелем. Во-вторых, сюда же входят все более сложные, совершенные и удивительные агрегаты для временной замены функциональных систем организма, выключаемых, например, для производства операций (заменители сердца и малого круга кровообращения для сложных операций в грудной полости и т.п.), или же временно выбывших из строя вследствие болезненного процесса (таковы приборы и камеры для обеспечения дыхания при острых стадиях полимиелита и др.). Не приходится и подчеркивать, что современный уровень техники обещает здесь огромные возможности по еще почти не поднятой "целине".

Второй класс автоматов практического назначения — это те самые автоматы, которые часто образно именуют "электронным мозгом". Это автоматические вычислительные или счетно-решающие машины, проделавшие за какие-нибудь 15—20 лет поистине гигантский путь развития. Их создание — результат движения навстречу друг другу *математических дисциплин* — теории приближенных вычислений и теории алгоритмов[1] — и *электронной техники*, развившейся главным образом на практических задачах техники связи. Включение в число алгоритмов, доступных таким машинам, также формул математической логики и "теории высказываний" сделало доступными для них и задачи логического порядка, превратив их по ряду отношений в так называемые автоматы — заменители мыслящего мозга. Решающую роль для расширения диапазона возможностей описываемых машин сыграло изобретение ряда устройств, выполняющих функции *памяти*, как долговременной, хранящей запечатленную информацию в течение неопределенно долгого времени, так и оперативной, подобной по своим функциям удержанию цифр и чисел "в уме" по ходу какого-нибудь вычисления. О двух поражающих количественных характеристиках электронно-вычислительных машин (их гигантском "объеме внимания", позволяющем им решать системы из неодолимого для человеческого ума количества уравнений, и их сказочной скорости работы, измеряемой миллионами элементарных операций в секунду) уже много раз сообщалось и в научной, и в общей печати.

---

[1] Алгоритмом в математике называют любое правило или совокупность правил, дающих рецепт хода или способа решения вычислительной задачи.

"Электронный мозг" есть один из представителей обширной совокупности изобретенных человечеством *орудий, усиливающих его непосредственные возможности.* Подзорная труба, телескоп, телевизор усиливают во много раз непосредственные возможности органа зрения. Мотоцикл, автомобиль, локомотив — подобные же усилители для скорости передвижения и тяговой силы. Автоматическая вычислительная машина проделывает точно такой же по смыслу комплекс вычислений, сравнений или логических операций, какой ценою долговременных и напряженных усилий мозга человек мог бы выполнить и сам, но выполняет его и безмерно быстрее, и безошибочнее, и с полной неутомимостью. Кроме того, практически неограниченный объем "памяти" и "внимания" позволяет поручать ей и такие вычислительные задачи, которые по своей громоздкости вообще далеко превышают возможности мозга человека, как легко везомый тепловозом груз в несколько тысяч тонн превышает то, что человек смог бы за всю свою жизнь перевозить на тачке.

Области применения электронно-счетных машин, несомненно, еще далеко не исчерпаны. Собственно говоря, эти машины применимы для решения всех тех задач, которые могут быть запрограммированы в символах элементарной математики и математической логики и для которых может быть дан общий алгоритм. Глубокие исследования советских математиков на протяжении последних лет смогли показать существование в математике неалгоритмируемых, т.е. тем самым недоступных сегодняшним аналитическим машинам, задач и, следовательно, определить реальные границы возможностей для машин этого рода. Границы эти, во всяком случае, оказываются чрезвычайно широкими и нестеснительными для очень разносторонней практики.

Здесь необходимо сделать сразу же два очень существенных разъяснения.

1. За последние несколько лет как в нашей стране, так и за рубежом появился ряд работ, задающихся целью выяснить в принципиальном, методологическом плане, какое место по отношению к живому, мыслящему мозгу могут занимать существующие на сегодня аналитические машины и на какое место они могут претендовать в будущем. Этот отнюдь не простой вопрос еще резко осложнен, к сожалению, тем духом деляческого рекламизма, каким проникнуты многие из зарубежных публикаций. Если отнестись к ним с простодушной доверчивостью, то получится, что уже существуют машины, способные перещеголять любого гения.

В некоторых публикациях сообщается, что уже созданы машины, способные автоматически сочинять литературно-художественные произведения на любую заданную тему, притом с той молниеносной скоростью, какая характеризует электронно-счетные машины. В ряде сообщений говорится о существовании и даже якобы о публичной демонстрации машин-композиторов, сочиняющих музыку тоже на любую заданную тему. В любой день можно ждать информаций о машинах, создающих шедевры живописи и скульптуры, перед которыми потускнеют творения Рафаэля и Кановы. Цель таких беззастенчивых реклам совершенно ясна: это пропаганда доводимой до крайних пределов идеологии полного вытеснения человека изо всех отраслей деятельности — сегодня на производстве, а завтра и в областях научного и художественного творчества.

Что можно вывести из того, что известно о структуре, технике и способах работы электронно-вычислительных машин и из философско-критических высказываний в этой области?

Самое яркое и принципиально глубокое отличие таких машин от живого организма заключается отнюдь не в том, что первые содержат в своих схемах сотни или тысячи электронных ламп и транзисторов, а второй — многие миллиарды функциональных элементов, нервных клеток и проводников. Главное различие (этого мнения как будто придерживаются все серьезные критики по данному вопросу) в том, что электронная машина *сооружается человеком* в определенных, осознанных им целях, человек же закладывает в нее ту или другую *программу,* отвечающую его намерениям, в пределах которой машина и будет работать, проявляя все свои великолепные качества быстроты и точности. В живой организм и в его мозг *никто извне не вкладывал никакой программы.* Проблема того, как, какими путями и механизмами эволюционно конструировался и программировался живой мозг, как под влиянием труда и общественных отношений самопрограммировался мозг питекантропа, становясь мозгом современного человека, — это, может быть, самая центральная и глубокая из биосоциальных проблем. Но основным и неоспоримым остается факт, что весь процесс совершался в порядке *активной жизнедеятельности и самоорганизации.*

Отсюда вытекает трудно оспоримый вывод, что автоматическая вычислительная машина принципиально не может оказаться *качественно и творчески умнее* своего создателя и программатора. Современные электронные машины обладают приспособлениями для осуществления самоорганизующихся процессов, т.е. могут находить в ряду возможных линий заложенной в них программы оптимальные или наивыгоднейшим образом сокращенные пути решения внесенной в них задачи. Но в том-то и дело, что сами эти линии возможного улучшения и перестройки программ в их деталях должны быть предусмотрены автором машины и сознательно заложены в нее.

2. Вопрос о том, чем же в таком случае, помимо своей быстроты, может быть полезной электронная машина в роли орудия чисто мыслительных, логических процессов, осложняется еще одним серьезным опасением, высказывавшимся в отечественной литературе и на какой-то срок настораживавшим некоторых из наших мыслителей против кибернетики вообще. Это опасение сводится к тому что как сама математическая логика и теория высказываний, так и работающие по их формулам электронно-аналитические машины функционируют в рамках *формальной логики и силлогистики.*

Мы не будем здесь касаться неисключенной возможности того, что советская философская и изобретательская мысль сумеет вложить в будущие машины также и программы операций диалектической логики. Это дело будущего. Мы же остановимся на другом, что прямо вытекает из высказанного выше о реальных границах возможностей аналитических машин и об их отношении к творчеству. Пусть современным машинам и не по силам диалектика, как не по силам им полноценное творчество, но ведь мы и не собираемся возлагать на них ни того, ни другого. В каждом глубоком мыслительном процессе есть, и зачастую очень немалая, доля черновой работы суждений, сопоставлений и умозаключений, так же как во всяком вычислении из любой наивысшей области математики немало самых элементарных сложений, вычитаний и умножений чисел. Формальная логика не опровергается и не отменяется диалектикой, а только отводится ею на свое место. Она играет в любом мыслительном процессе роль, вполне аналогичную роли таблицы умножения в вычислительной работе. И как бы возвышенно ни был настро-

ен для работы мозг мылителя-диалектика, его продукция сможет пойти насмарку, если этот мозг напутает в элементарных силлогизмах: 2×2=4 и barbara—celarent.

Раз автоматическая вычислительная машина не творец и не мыслитель, а орудие, то наша задача состоит в том, чтобы определить, насколько она полезна для нас именно в роли вспомогательного орудия: 1) насколько она в состоянии решать колоссально громоздкие задачи многочисленных систем уравнений или производить заключения и сопоставления не менее множественных симптомов заболевания; 2) насколько она в состоянии, раскрепостив и разгрузив мыслящий мозг человека (биолога, физиолога, врача) от необходимых, но стандартных, доступных запрограммированию частностей, открыть для него этим путем все возможности творческого мышления с захватом решаемого вопроса вглубь и с широкой возможностью увидеть целостный "лес" проблемы благодаря устранению заслонявших его "деревьев".

Очерк десятый

МОДЕЛИ КАК СРЕДСТВО ИЗУЧЕНИЯ НЕРВНО-ДВИГАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ[1]

Необычайный расцвет электротехники, в частности электроники с ее могучими возможностями безинерционного усиления, телеуправления, а в последнее время даже своего рода запоминающих устройств, привел к большому увлечению моделями органов и организмов, ставшему на Западе своего рода модой. Журнальная литература от наиболее солидных изданий вплоть до рекламно-бульварных то и дело сообщает о новых сенсациях в этом роде, иногда честно освещая принципы и схемы моделей, иногда многозначительно отмалчиваясь.

Совершенно своевременно поставить вопрос: может ли путь моделирования нервно-двигательных отправлений принести реальную научную, эвристическую пользу, и если да, то какие направления на этом пути правильны и какие следует считать ложными, бесполезными или даже способными завести в тупик?

В этом кратком разборе я не коснусь вопроса об автоматах, построенных с прямыми практическими целями для замены человека в том или ином производственном процессе. Здесь на первом плане целесообразность результата и ничего более. Речь пойдет о моделях чисто исследовательского назначения.

Идея модельного подражания отправлениям живых существ с целью проникновения во внутренние механизмы последних отнюдь не нова. Если отнести к классу исследовательских моделей, кроме вещественных, также так называемые мысленные модели, ограничивающиеся проектированием более или менее выполнимых устройств на бумаге, то историю обсуждаемых моделей приходится начинать едва ли не с декартовой идеи о механическом действии нервных нитей на осуществление дуги рефлекса[2]. Каждый очередной уровень, достигнутый техникой, привлекал к себе и соответственно настраивал мышление физиологов, часто совершенно непроизволь-

---

[1] Настоящая небольшая статья была помещена в "Докладах АПН РСФСР" (1958. N 2. С. 89).

[2] Летающая модель голубя Архита Тарентского, модели имитации животных Леонардо да Винчи и т.п. не предназначались для разрешения физиологических задач.

но моделировавших жизненные процессы по образцам и подобиям современных им инженерных достижений. Достаточно напомнить о таких мысленных моделях прошлого столетия, как резонаторная модель кортиева органа Гельмгольца или представление о нервах как кабелях из изолированных (миелином) электропроводников, о внутримозговых коммуникациях как подобии центральных телефонных станций, владевших умами многих нейрофизиологов — современников Белля и Эдисона. Разумеется, и в наши дни такая установка мышления (следовало бы назвать ее семероморфизмом[1]) в неменьшей степени влияет на умы, предоставляя к их услугам волновые процессы, полупроводники, мембраны, квантованные микропотенциалы, актомиозиновые электроэластические цепочки и очень многое другое.

Если ни на минуту не упускать из вида, что каждая очередная удавшаяся модель является в лучшем случае лишь огрубленным приближением, этапом продвижения к еще очень отдаленной истине, то, бесспорно, эвристическая ценность моделей может быть значительной. Однако на этом пути легко возможны и серьезные упущения. Из накопившегося опыта можно сделать несколько руководящих выводов о том, как обращаться с экспериментальным моделированием и какие заключения из опытов с моделями можно считать методологически правильными.

Первый вывод, на достигнутом уровне техники уже совершенно несомненный, — это вывод о ничтожном научном значении моделей *с изолированным положительным результатом.* Если модель удачно воспроизводит тот или другой физиологический акт, то подобный успех делает ее практически перспективной для построения на ее основе тех или иных рабочих автоматов, но ни в коей мере не может быть доказательным в смысле тождества между механизмом модели и тем, который обусловливает смоделированный процесс мозга. Примеров, подтверждающих высказанное правило, множество, начиная с автоматов для перронных билетов, выполняющих свою однообразную функцию так же успешно, как и живые кассиры, но еще никем не заподозренных хотя бы в частном сходстве их устройства с мозгом последних, и кончая самолето-снарядами с дистанционным управлением радиокодами, даже отдаленно не похожими по принципам устройства на познанные уже сегодня механизмы нейромоторных реакций.

Наоборот, моделирование физиологических актов становится сразу эвристически ценным и приводящим к неоспоримым выводам *в случаях неуспеха,* отрицательного исхода попытки воспроизвести тот или иной физиологический процесс. Если модель, сооруженная для имитации какого-либо живого отправления на принципе гипотетически приписываемого последнему внутреннего механизма, оказывается на деле несостоятельной, неспособной выполнять то, для чего она предназначалась, это уже точно доказывает, что гипотеза о внутреннем механизме данного отправления была ошибочной, по меньшей мере существенно неполной. Если, например, исходя из гипотезы о двигательном стереотипе с управлением изнутри, без кольцевой регулировки по обратной связи, построить модель-тележку, которая должна пробегать замкнутый путь определенной формы, составленный из прямых и закруглений, и пустить ее пробежаться в саду по траве или по булыжной мостовой, то вся ее несостоятельность обнаружится при первом же опыте, хотя, быть может, она и была бы в состоянии благополучно замкнуть контур своего пути на паркете или гладком асфальте.

---

[1] От σημερου — сегодня и μορφη — форма; оформление по образцу и подобию сегодняшнего дня.

Аналогично в 3-м очерке я попытался показать математически, что стереотип определенной цепной последовательности титанических мышечных импульсаций не может обеспечить стереотипное же повторение одинаковых дижений иннервируемой конечности. Здесь моделирование как вещественное, так и мысленное (математическое) приводит к вполне строгому отрицательному доказательству.

В связи со сказанным уместно остановиться здесь на разборе некоторых методологических ошибок, обнаруживающихся в моделях иностранных авторов (*технически* пока нас основательно опередивших).

Первая ошибка (если можно во всех случаях считать ее действительно непреднамеренной), встречающаяся в очень многих образцах моделей-тележек, заключается в увлечении чисто внешней подражательностью живым объектам, достигаемой при помощи технических средств, еще не ставших для широкой публики обыденными. Что удивительного, например, если игрушечный электровоз бежит по рельсам, механически направляющим его колеса? Но если вместо зримых и осязательных рельсов ходом и поворотами электровоза на гладком полу управляют комбинации из рефлекторов и фотоэлементов с усилительными реле, еще не столь примелькавшиеся, как рельсовый путь, то он уже начинает походить своим поведением на некий организм с оптикомоторными реакциями, не доказывая и не вскрывая этим ничего полезного для науки о мозге и поведении. Сюда же, в эту группу, следует отнести модели-тележки, находящие дорогу в лабиринте опять-таки при содействии фотоэлементов, модели, реагирующие вместо световых сигналов на свистки, прикосновения, отраженный свет своих же фар и т.п.

Более тонкая форма ошибок выявляется в моделях, уже претендующих как будто на обнаружение или подтверждение существования тех или других предполагаемых рабочих механизмов мозга.

Однако можно показать, что если модели первой группы заводят в научно бесплодные тупики, то многие из тех, к которым я перехожу сейчас, попадают в положение порочного круга, или petitio principii, исходя, по сути дела, из той самой гипотезы, которую предназначается доказать.

К таким относятся, например, очень остроумная по замыслу модель Walter, настолько (сказать к слову) внешне похожая своим поведением на живую зверушку, что от нее, как от беса, спасались в свои комнаты верующие дамы[1]. Предположив (тоже не без семероморфизма) и убедительно аргументируя в пользу существования в рецепторных органах центральной нервной системы механизмов систематизированного просмотрового поиска или сканирования (scanning) своего зрительного или слухового диапазона, Walter делает попытку заставить этот гипотетический механизм быть ответственным за все локомоторное поведение организма и, следовательно, моделирующей его тележки. Вмонтированный в нее аппарат заставляет тележку катиться прямо, покуда она освещается "в лоб"; прекращение же вызывавшегося этим фотоэффекта тотчас же включает мотор, заставляющий рулевую ось переднего колеса вращаться по часовой стрелке, совершая один за другим полные обороты. Это приводит к тому, что не раздражаемая спереди светом тележка описывает по полу циклоидоподобные петли, поворачиваясь поочередно во все стороны. Очевидно, что если в комнате имеется пучок света, то по истечении не более

[1] Интересно, что точно таким же образом один пастор в конце XVIII в. испугался "огненного змия" — опытной модельки паровоза, которую испытывал ночью на улице Тревитик.

чем одного полного обращения тележки он попадет в поле зрения ее фотоэлемента и этим прекращает ее вальсирование. Рулевой моторчик выключается, тележка бежит прямо к источнику света с тем, чтобы, потеряв его почему-либо из вида, снова впасть в состояние вращения и этим путем вскоре вновь обрести нужный румб.

Ясно, что перед нами какая-то форма рецепторного регулирования: луч рефлектора задает требуемое направление движения, воспринимаемое рецептором, а рецепция отклонений включает некоторый коррекционный механизм, способный восстановить, хотя и обходным путем, оптимальное положение вещей. Все это так, но где найти хотя бы малейшее подтверждение тому, что этот хотя и дееспособный коррекционный механизм имеет что-либо общее с фактически заложенным в нейромоториуме мозга? Petitio principii Walter состоит в том, что, угадав (верно или нет, но правдоподобно) существование в мозгу частного механизма сканирования, способного помогать ориентировочной реакции, он превращает этот механизм из частного в общий, заставляет его отвечать за весь процесс координации и, добившись некоторого имитационного сходства с живой натурой, не замечает, что не выявил этим не только ее координационных, но даже как раз наиболее вероятных ориентировочных механизмов.

Вторая модель, описанная тем же Walter под названием "Conditioned Reflex Analogue" (сокращенно CORA), поучительна еще в другом отношении. Задача состояла в том, чтобы заставить тележку, пускаемую в ход световым сигналом: а) начинать со ступенчато возрастающей интенсивностью реагировать на воздействие свиста, подкрепляемого светом; б) далее реагировать и также ступенчато угашать положительную реакцию при действии свиста без светового подкрепления. Налицо как будто в самом деле полнейшая аналогия с условным рефлексом. Но если вникнуть в суть дела, нас сразу встречают два разочарования. Во-первых, модель *заранее* так спроектирована и устроена, чтобы именно свисток мог связываться в ней с реакцией свет — мотор за наперед установленное число ступеней — повторов. Что это был бы, например, за фонограф, если бы данный экземпляр его только и умел бы записать и воспроизводить "птичка божия не знает" и т.д. и ничего иного? Вместо приспособительного ассоциирования (а одно только это и значимо биологически в условном замыкании) налицо заранее заготовленная конструкция. Во-вторых, остроумная и сложная пятиламповая схема действительно обеспечивает ступенчато возрастающую электросвязь микрофона с включателем мотора, но сейчас уже никто не скажет, что подобный примитивный механизм с накопительными реле имеет что-то общее с активной синтез-анализаторной деятельностью мозга, формирующего условное замыкание. Значит, модель при всей своей внешней эффектности не только не подвигает наших знаний о механизмах мозга вперед, но оказывается значительно отстающей от сегодняшнего их уровня.

Некоторый косвенный интерес представляет CORA совсем в другом отношении, а именно в направлении отрицательного доказательства.

Для светоуправляемой черепахи Walter оказалось вполне достаточно двух радиоламп. Для имитации запечатления и угасания в модели CORA потребовалось добавить к ним еще пять ламп при очень сложной схеме. Этот факт уже доказательно говорит о том, что, прав или неправ Walter в том, на какие именно элементы и стадии он расчленяет механизм памяти, но этот механизм заведомо нельзя более

представлять себе как элементарное монофазное фотографирование. Он необходимо синтетичен, но как — это сможет показать только будущее.

Чтобы избежать повторений, не стоит касаться ряда других моделей, аналогичных описанным и повинных в основном в тех же ошибках. В нескольких словах следует упомянуть о гомеостате Эттли — он же machina sopora ("соня") — машине, способной ценой работы очень большой и громоздкой схемы восстанавливать автоматически равновесное электрическое состояние своих приборов после любого экзогенного выведения ее из такового, т.е. доказывающей возможность моделирования того самого, что находится в абсолютном противоречии с процессами бодрствующей жизни, вся сущность которой не только в динамике (физической и химической) устремления, но и в недостижимости равновесия. In pace requiescat![1].

Существует, однако, один принцип, позволяющий использовать для исследовательских целей *модели с положительным результатом имитирования.* Этот принцип, охватывающий значительно более широкий круг вопросов, нежели проблематика моделирования, был описан мной в 1935 г. под названием принципа "равной простоты", поскольку мне не удалось подыскать ему боле удачное название (см. очерк 3-й). Напомню здесь в кратких словах его суть.

Признававшаяся долгое время правильной идея, что из нескольких мыслимых объяснений механизма данного явления истинно наиболее простое, оказалась ошибочной, основанной на смешении понятий простоты и обобщающей силы. Если и казалось, что система Коперника или закон тяготения истиннее концепции Птолемея и аристотелевой механики потому именно, что они проще, то наше время накопило очень много примеров того, что более новые и близкие к истине концепции бывают значительно сложнее старых, ими вытесняемых. Механика Эйнштейна несравненно сложнее механики Ньютона. Теория и модель атома все время усложнялись на пути от Лоренца к Бору, а от последнего — к Шредингеру и Юкаве, хотя прогрессивность в обоих случаях вне сомнений. Но зато, видимо, справедливо другое. Одну какую-либо изолированную функцию в большинстве случаев могут с примерно равным успехом осуществить или объяснить несколько разных по принципам их устройства механизмов. Примеры этого мы видели на рассмотренных здесь моделях. Но если речь идет о целой распространенной *серии* (классе, континууме и т.п.) функций, то почти невероятно, а часто и вообще невозможно, чтобы два или более принципиально разных устройства могли реализовать подобную серию по всему ее диапазону *с одинаковым распределением по степени легкости* (или простоты, совершенства, точности, коэффициента полезного действия и т.д.) выполнения.

Примеров можно привести очень много. Круг определенного диаметра можно одинаково легко и точно начертить обведением круглого лекала, циркулем, эллипсографом. Однако циркулю с одинаковой простотой доступны все диаметры, тогда как лекало ограничено одним или небольшим дискретным рядом их. Эллипсографом одинаково просто начертить как круг, так и эллипс, циркулем же начертить эллипс хотя и возможно (навернув бумагу на цилиндр), но сложно. Диатоническую гамму одинаково просто исполнить на фортепиано, скрипке и флейте, но при этом скрипке доступно непрерывное glissando тонов, невыполнимое на обоих других инструментах. Двузвучие доступно скрипке и фортепиано, но

---

[1] Да почиет с миром!

исключено для флейты, а пятитоновый аккорд можно взять только на фортепиано. Подобный же результат даст сравнение вычислительных возможностей счетов, счетной линейки и арифмометра, анализ поворотливости и проходимости в разных условиях обычной автомашины, гусеничного вездехода и автомобиля с рулевой передачей на все колеса и т.д.

Это значит, что если удастся спроектировать и построить модель, способную воспроизводить какую-либо серию или континуум функций организма с одинаковым с ним распределением доступности или качества их выполнения, то это создает очень большую вероятность того, что подозреваемый в основе этой функциональной серии механизм "черного ящика" угадан верно.

Мне было бы трудно наметить в этом направлении сколько-нибудь широкую и конкретную проблематику. Назову только две задачи из близкой мне области физиологии движений, решение которых могло бы быть продвинуто моделированием с приложением к анализу принципа "равной простоты".

1. Прикрепив карандаш к запястью, т.е. ограничив его подвижность, считая от лопатки, четырьмя степенями свободы, мы в состоянии примерно с равной легкостью и мерой удачи выполнения начертить кривую или квадрат малой или большой величины на горизонтальной или вертикальной поверхности, перед собой или слева от себя и т.п. Как должен быть построен модельный механизм, управляющий четырьмя степенями свободы, чтобы быть способным к подобному же обобщению в условиях и рамках *пространственного поля?*

2. На скорость и правильность зрительного, а также тактильно-гаптического распознавания нами *фигур* (треугольник, звезда, "конверт" и т.п.) и *буквенных знаков* явным образом не влияют ни размеры этих объектов, ни метрика их внутренних пропорций, ни тот или другой конкретный стиль шрифта, ни опять-таки их местоположение относительно нас (но за исключением поворота их во фронтальной плоскости). Какой механизм или процесс способен был бы обеспечить подобное этому *топологическое обобщение* контурных конфигураций? Удачное решение последней задачи могло бы существенно продвинуть стоящий на очереди практический вопрос создания *читающих автоматов.*

Выдвижения других проблем, заслуживающих модельного изучения и экспериментирования в этом направлении, будем ожидать от физиологов.

Очерк одиннадцатый

ПУТИ И ЗАДАЧИ ФИЗИОЛОГИИ АКТИВНОСТИ[1]

Новые точки зрения и по-новому ставящиеся проблемы, связанные с развитием кибернетики, властно захватили и мышление физиологов. Преобладающая часть высказываний по этим вопросам в нашей физиологической периодике выражает стремление установить непрерывную связь положений современной теоретической кибернетики со взглядами и достижениями классиков отечественной физиологии. Это побуждает пристально и вдумчиво смотреть *назад.* Однако ду-

[1] Очерк был напечатан с некоторыми сокращениями в журнале "Вопросы философии" (1961. N 6. С. 77).

мается, что для непрерывного преемственного развития тех опередивших свое время строго материалистических идей и положений, которые переданы нам в наследство отечественными физиологическими школами И.М. Сеченова, И.П. Павлова, Н.Е. Введенского, А.А. Ухтомского, для дальнейшей разработки их вклада в биологическую науку сейчас значительно более важно вглядываться *вперед,* пытаться наметить хотя бы в общих чертах те еще далеко не разрешенные *задачи,* которые вытекают из новых фактов и концепций, и те *пути*, которые еще требуют осторожного нащупывания, но, по-видимому, смогут привести к открытию новых больших горизонтов. Это еще и потому может оказаться плодотворнее ретроспективных поисков преемственности, что, судя по очень многому, биологические науки испытывают сейчас диалектический скачок развития, требующий смелого разрыва с позициями, уже пережившими свой период ценной прогрессивности, и поиска иных отправных точек, наиболее созвучных с настоящим моментом. К таким новым направлениям исследования представляется правильным отнести изучение *физиологии активности.*

I. Для классической физиологии прошлого столетия характерны две четко определяющие ее черты. Первая из них — изучение отправлений организма в покоящихся, недеятельных состояниях. Такие состояния, где только возможно, обеспечивались искусственно, путем мозговых перерезок, наркотизации животного, привязывания его к станку и максимальной изоляции его от внешнего мира. Такой аналитический подход к изучению состояний покоя вытекал из стремления исследовать каждый орган и каждый элементарный процесс порознь, исключив какие-либо влияния на них со стороны или друг на друга. Этот подход в общем соответствовал господствовавшему в то время в естествознании стихийному механистическому атомизму. Его абсолютизация вела к убеждению, что целое есть всегда сумма своих частей и ничего более, что организм есть совокупность клеток, а все поведение — цепь рефлексов и что глубокого познания этих отдельных кирпичиков достаточно для постижения здания, построенного из них.

Вторая характерная черта заключалась в положении, что организм находится в непрерывно-равновесном состоянии с окружающей его средой и что такое стойкое равновесие обеспечивается адекватными, правильно отлаженными реакциями на каждое очередное воздействие среды. Все бытие и поведение организма есть непрекращающаяся цепь реакций по схеме раздражение — ответ (сейчас сказали бы "вход — выход"). Знаменем классической материалистической физиологии стала оборванная в начале и на конце *рефлекторная дуга,* центральной задачей — анализ закономерностей *реакций* как строго детерминированных входно-выходных взаимоотношений.

Общие технико-экономические условия после первой мировой войны заострили внимание к *рабочим* состояниям организма. Возникли новые прикладные ветви: физиология труда и физических упражнений, психотехника, биомеханика. Естественно, стал пробуждаться интерес к движениям (здесь и далее всюду под этим словом будут подразумеваться целенаправленные двигательные акты, а не малозначительные обрывки движений вроде болевого отдергивания лапы или коленного рефлекса). Если в рамках старой физиологии покоя и равновесия этому разделу не уделялось достаточного внимания и места, то

теперь стала уясняться его первостепенная важность. В самом деле, движения — это почти единственная форма жизнедеятельности, путем которой организм не просто взаимодействует со средой, но активно *воздействует* на нее, изменяя или стремясь изменить ее в потребном ему отношении. Еще И.М. Сеченов 100 лет назад указал на эту всеобщую значимость движений в своих замечательных "Рефлексах головного мозга". Если добавить, что за прошедшее с тех пор время уяснилось неотъемлемое участие движений во всех актах чувственного восприятия, в воспитании органов чувств в период раннего детства, наконец, в активной выработке объективно верного *отражения мира* в мозгу путем *выверки* синтеза восприятий *через практику,* то легко понять смещение центра тяжести интересов, которое все более стало ощущаться в современной физиологии.

Непрерывающийся рост сложности и мощности технических агрегатов выявил с полной очевидностью, что задачи регулирования и управления этими мощностями образуют самостоятельную область изучения, которая не менее сложна, важна и содержательна, чем сама энергетика, подлежащая управлению. Проблема "всадника" стала преобладать над проблемой "коня".

Аналогично этому и физиология, начав с изучения энергетики рабочих состояний организма (газообмен, отправления подсобных систем, непосредственно не принимающих участия во внешней работе, — дыхание, кровообращение, потение и т.п.), постепенно стала концентрировать внимание на гораздо более содержательных вопросах регуляции и центрального управления активностью живых организмов.

II. Для дальнейшего изложения необходимо вкратце остановиться на некоторых принципиально важных чертах управления двигательными актами как животных, так и человека, уже установленных с полной объективной достоверностью. Первая из них состоит в том, что зависимость между *результатом* (например, движением конечности или ее звена) и теми *командами,* которые подаются в ее мышцы по *эффекторным нервам* из мозга, очень сложна и *неоднозначна*[1]. Неоднозначность проистекает прежде всего оттого, что мышцы — это эластические жгуты (попробуйте мысленно заменить паровозный шатун резинкой или спиральной пружиной), эффект действия которых на орган движения существенно зависит от того, в какой позе и на какой скорости этот орган застигнут начавшейся активностью мышцы. Она обусловливается, далее, тем, что между шарнирно соединенными звеньями руки, ноги, туловища, как и в любом физическом многозвенном маятнике, при каждом движении возникают сложные и запутанные непроизвольные силы отдачи (*реактивные силы*). Наконец, эта неоднозначность является следствием того, что движения, имеющие какой-то реальный смысл, в преобладающем большинстве преодолевают какие-то *внешние силы* (тяжести, трения, сопротивления противника), уже полностью неподвластные действующей особи и не предусмотримые для

[1] Указанная зависимость между мышечным возбуждением и результирующим движением чрезвычайно далека от той картины, которая уверенно рисовалась физиологам прошлого столетия. Тогда казалось естественным трактовать двигательную область коры мозга как своего рода кнопочный пульт, на котором чья-то рука полновластно выполняет рисунок того или иного двигательного стереотипа: нажим — раздражение одной кнопки клеточки вызывает всегда одинаковый элемент сгибания определенного сустава, нажим другой — его разгибание и т.п.

нее. Очевидно, организм, для которого единственным каналом воздействия на внешний мир являются все-таки только команды, подаваемые мышцам, может сделать свои движения управляемыми и отвечающими поставленной задаче только путем непрерывного слежения и контроля за их протеканием через посредство датчиков — органов чувств. Хорошо известная не только физиологам великолепная и разнообразная оснащенность организма сигнальными приборами, находящимися и в самих мышцах, и в суставах, и в главной наблюдательной вышке тела — голове с дальнодействующими органами зрения, слуха, обоняния, обеспечивает безукоризненное и непрерывное *кольцевое управление* и выверку (корригирование) движений даже таких многозвенно-подвижных цепей, как наши конечности с их мягкими движителями — мышцами[1].

Вторая черта, которая не могла не остановить на себе внимание, особенно в навыковых, хорошо отработанных движениях, — это их огромная *внутренняя связность*. Глубоко ошибаются те, кто рассматривает навыковые движения как какие-то кинематические стереотипы: начать с того, что устойчивость, стандартность формы вырабатываются мозгом выборочно только для тех видов навыков, для каких это реально необходимо (например, бег, спортивный прыжок и т.п.). А найдите-ка подобный стандарт в высочайше организованных навыках таких движений более высокого смыслового порядка, как рукодельные движения искусниц-кружевниц или часовых сборщиц, движения виртуозов смычка и клавиатуры и т.п.! Приспособительная изменчивость навыков движений неуклонно растет с возрастанием смысловой сложности действий, проявляясь сильнее всего в цепных навыковых действиях над предметами (справедливая житейская поговорка "не мытьем, так катаньем"). Но даже и в самых стандартных, с младенчества освоенных актах, как ходьба, достаточно было от приглядки перейти к применению точной аппаратуры, чтобы обнаружить, что ни один шаг не идентичен другому даже на гладком месте, не говоря уже о ходьбе по неровной дороге.

Внутренняя цельность и связность проявляются на фоне этой приспособительной изменчивости в более тонких, бесспорных, хотя и далеких от полной объясненности фактах. Не только изменение, внесенное в движение одного звена, сейчас же сказывается на изменениях во всех остальных (это понять было бы еще проще всего), но также изменение в какой-нибудь одной фазе движения (например, в начале цикла) непременно влечет за собой определенные изменения в какой-либо другой фазе, не обязательно непрерывно следующей за первой. Ряд циклических движений, как ходьба, бег, опиловка, летные движения крыла птицы или насекомого, с хорошим приближением целиком выражаются несложными кинематическими уравнениями, что опять-таки говорит об их целостной связности от начала до конца цикла.

[1] Здесь перед нами типичный случай системы *управления на обратных связях* — устройства, в сравнительно простых формах широко применяемого в современной технической автоматике. Попутно стоит заметить, что тот же принцип регулирования по обратной связи в последние годы установлен для самых разнообразных отправлений организма: реакций зрачка, кровяного давления, сердечной ритмики, химических равновесий и т.д. Как это стало неоспоримым теперь, всеобщей и господствующей формой управления и регулирования в живых организмах является не рефлекторная дуга, а рефлекторное кольцо.

Может быть всего выразительнее тот широко известный факт, что навыковые движения типа работы молотком, бега, всякого рода легкоатлетических упражнений выполнимы далеко не "как угодно", а отливаются в небольшое число дискретных форм без переходов между ними, называемые в спорте стилями, в трудовых навыках — приемами. Итак, движения — не цепочки рефлексоподобных элементов, которые можно набирать как вздумается, наподобие типографских литер. Это целостно организованные *структуры*, постепенное развитие и становление которых, часто очень длительное и нелегкое, нам удалось подробно изучить на некоторых видах движений.

Третья важнейшая черта еще очень далека от ясности. Для ее первоначальной характеристики здесь потребуется наиболее вдумчивый анализ. Зато именно эта черта подведет нас прямым путем к мосту от *физиологии реакций,* долгое время монопольно владевшей вниманием психофизиологов, *к физиологии активности.*

III. Что является стандартным, устойчивым определителем той глубоко связной структуры двигательного акта, о которой шла речь сейчас? Таким стандартом-определителем не могут служить *эффекторные команды.* Выступая не иначе как в трио с двумя видами неподвластных сил (реактивными и внешними силами) и действуя на орган через нежесткую мускулатуру, они должны в широких пределах изменчиво припасовываться к контрольным сигналам, поступающим с органов чувств. Не могут им быть и эти афферентные (входящие) сигналы, потому что сигналы рассогласования столь же изменчивы, как и вызвавшие их причины, а главное, потому, что содержанием вносимой ими информации является "то, что есть", а отнюдь не "то, что надо сделать". Непригодны, наконец, для роли стандартов-определителей и те внутренние, еще не разгаданные мозговые механизмы перекодирования или перешифровки, которые преобразуют прибывающие к ним сигналы о ходе движения и о возникающих рассогласованиях в требующиеся команды нужным мышцам в нужный момент, поскольку они по необходимости так же гибки и нестандартны, как и те коды, которые им приходится перерабатывать.

Весь наш долгий опыт изучения двигательных форм, навыков, клинических расстройств показал с полной ясностью, что единственным стандартом-определителем и для программы двигательного действия, и для ее выполнения, и для корригирования по обратным связям может являться только оформившаяся и отображенная каким-то образом в мозгу *двигательная задача.* Анализу этого понятия и всего широко связанного с ним круга зависимостей и фактов и будет, по сути дела, посвящено все дальнейшее изложение этого очерка.

Если для начала не побояться простой житейской терминологии, то последовательность в возникновении и реализации любого действия из класса так называемых произвольных движений можно представить в виде следующих этапов: 1) воспринята и в нужной мере расценена *ситуация,* т.е. обстановка и сам индивид, включенный в нее; 2) индивид определяет, во что нужно ему превратить эту ситуацию, что посредством его активности *должно стать* вместо того, *что есть.* Это уже выявившаяся двигательная задача. Нетрудно убедиться, что она содержит в себе больше информационного материала,

нежели воспринятая ситуация; по крайней мере частично не содержится в последней. Стая животных или группа людей может быть застигнута общей для них всех ситуацией, однако двигательное поведение будет различным у каждого из них, чему легко подобрать примеры.

Затем определяется для индивида: 3) *вот что* надо сделать, 4) *вот как,* с помощью каких наличных двигательных ресурсов надо это сделать. Эти два микроэтапа представляют собой уже *программирование* решения определившейся задачи. За ним последует фактический процесс ее двигательного решения.

Вряд ли нужно специально подчеркивать, что и контрольная оценка последовательных моментов активного действия, и изменчивость самой ситуации, и грубоватая приблизительность, с какой, вообще говоря, только и можно спрограммировать немгновенное действие, — все это обусловливает приспособительную изменчивость программы и действия по ходу осуществления последнего, от мелких коррективов и до крутой смены стратегий.

Было бы ошибочным думать, что перечисленные микроэтапы перехода от ситуаций к действию присущи только активности высокоорганизованных нервных систем. Те же этапы также имеют место и в таких примитивнейших действиях, как, например, охота хищной рыбы за живой добычей. Здесь налицо и ситуация, воспринимаемая в нужной форме и мере, и двигательная задача, и программа ее решения. Как именно кодируется то и другое в нервных приборах хищной рыбы или летучей мыши, нам совершенно неизвестно, но бесспорно, что для их действенности не нужны ни сознательность, ни особенно высокая нервная организация.

К сказанному выше о большем количестве информационного содержания в задаче по сравнению с наличной ситуацией надо добавить следующее.

С точки зрения зависимости реакции организма от вызвавшего ее раздражения или входного стимула построим мысленно ряд, в который расположим все действия (ограничившись здесь для ясности человеком) по признаку значимости для них такого пускового стимула. На одном из флангов этого ряда окажутся движения, полностью обусловливаемые пусковым стимулом — сигналом. Здесь мы найдем все так называемые безусловные, или врожденные, рефлексы. Здесь же окажутся и все выработанные прижизненно, но столь же полно зависящие от пускового сигнала реакции из обширного класса *условных рефлексов* как человека, так и животного.

Дальше в обсуждаемом ряду разместятся движения, для которых стимул или сигнал продолжает играть пусковую роль, но смысловое содержание которых во все возрастающей мере находится вне зависимости от него. Для двигательных актов этого класса пусковой сигнал все больше начинает приобретать черты "*спускового сигнала*", аналогичного действию нажима на кнопку, включающего всю автоматику запуска ракеты, или сигналу "гоп!" или "марш!", за которым следует действие с программой, в очень малой мере связанной по значению с этим междометием. Наконец, на противоположном фланге мы встретимся с действиями, для которых пусковой или спусковой сигнал вообще не играет решающей роли и может вовсе отсутствовать. Эти-то действия, для которых не только программа, но и инициатива начала целиком определяются изнутри индивида, в наиболее точном

определении и являются тем, что принято называть *произвольными действиями.* Нетрудно увидеть, что перемещение вдоль нашего ряда совпадает с постепенным переходом от пассивных актов к проявлениям все возрастающей степени активности[1].

IV. Теперь посмотрим, что можно сказать в настоящий момент об обязательной предпосылке всякого акта превращения воспринятой ситуации в двигательную задачу: о феномене, который на житейском языке заслуживал бы название "заглядывания вперед", а в более научном обозначении — *экстраполяции будущего.* Действительно, наметить двигательную задачу (независимо от того, как она закодирована в нервной системе) — это необходимо означает создать в какой-то форме образ того, чего еще нет, но что должно быть. Подобно тому как мозг формирует *отражение* реального *внешнего мира* — фактической ситуации *настоящего* момента и пережитых, запечатленных памятью ситуаций *прошедшего* времени, он должен обладать в какой-то форме способностью "отражать" (т.е., по сути, дела, конструировать) и не ставшую еще действительностью ситуацию непосредственно *предстоящего,* которую его биологические потребности побуждают его реализовать. Только такой уяснившийся образ потребного будущего и может послужить основанием для оформления задачи и программирования ее решения. Несомненно, что такое отображение предстоящего обладает глубокими качественными отличиями от отображения прошедше-настоящей реальности, но, как покажет последующий разбор, возможность его существования в каких-то кодовых формах (вовсе не требующих субъективной сознательности) в мозгу как человека, так и животных не заключает в себе чего-либо порочного методологически.

В ряде случаев, удобных в качестве вводной иллюстрации, а возможно, также и для экспериментального исследования, "заглядывание в предстоящее", о котором идет речь, доступно и для самонаблюдения, и для хронометрических измерений. Это прежде всего те случаи, когда программа выполняемой двигательной задачи оформлена в виде материального кода, воспринимаемого органами чувств. Музыкант, играющий с листа, каждый из нас при чтении вслух текста обязательно опережает взором на какой-то временной отрезок те ноты или слоги, которые фактически звучат в данный момент, т.е. все время имеет в своем мозгу звуковой и психомоторный образ того, что еще предстоит двигательно реализовать через секунды или доли секунд. Выразителен опыт, легко производимый над самим собой. Попробуйте не спеша продекламировать про себя (так, как читают "про себя") какое-нибудь хорошо знакомое вам стихотворение.

Мысленно прислушиваясь при этом к себе, вы ясно заметите, что перед внутренним слухом у вас одновременно проходят два текста: один течет в декламационном темпе, сопровождаясь иногда движениями губ. Вместе с тем

[1] Условные рефлексы приходится относить не к промежуточному, а к первому из перечисляемых здесь типов, так как в выработанном и отдифференцированном условном рефлексе раздражитель выполняет *не только пусковую, но и известительную* функцию, полностью определяя, последует ли за ним ответный акт, или дифференцировочное торможение, или иная форма акта и т.п.

на втором плане, опережая его, бежит другой текст, как если бы вам подсказывал стих за стихом какой-то внутренний суфлер. Нет сомнения, что психофизиологи сумеют предложить много более удачных и продуктивных форм опытов и наблюдений над этим феноменом.

Одна очень своеобразная группа явлений, наблюдавшихся не раз, показывает, что обсуждаемое здесь отображение предстоящего, не ограничиваясь только влиянием на ход программирования действий, может в известных случаях обладать огромной физиологической действенностью, как если бы в самом деле предощущаемое в будущем уже действительно существовало в настоящем. Я имеют в виду источники *аффекта страха* — переживания, которое только и может возникать на основе яркого отображения в мозгу надвигающегося предстоящего. В старой и современной научной литературе имеется ряд описаний *смерти от страха*, настолько сильным может оказаться вегетативный шок, вызываемый таким кодовым отображением. В художественной литературе мы встречаемся с ним у Гоголя и Эдага По[1].

Чтобы приблизиться к исследованию тех принципов и форм, по которым может быть закодировано в мозгу "отображение будущего" в самом широком смысле этого понятия (область нервных процессов, служащих основным, ведущим компасом организма во всех проявлениях его активности) и его существенных отличий от отображения прошло-настоящего, придется начать с небольшого теоретического отступления.

Пусть все элементы некоторого множества *E* (любого числа измерений) соотнесены по определенному закону с элементами другого множества *I* так, чтобы с каждым элементом второго множества были приведены в соответствие один или несколько элементов первого и наоборот. Множество *E* мы будем в указанном случае обозначать как множество—*первообраз,* множество *I* — как его *отображение,* принцип или правило соотнесения — *как закон отображения или проекции E* на *I.* Элементы множества первообраза могут (все или частью) являться функциями времени. Тем самым, очевидно, окажутся функциями времени и элементы множества *I,* а с ними и все множество *I* как целое. Функцией времени может быть и самый закон отображения. В таком случае отображение *I* будет двоякоизменчивым во времени как от той, так и от другой причины. Наглядным физическим примером сказанного может служить оптическое изображение на сетчатке глаза у человека, смотрящего на уличное движение из автомашины. Непрерывные изменения этого изображения будут обусловливаться собственными движениями видимых объектов и изменением закона оптической проекции на сетчатку глаза за счет собственного движения последнего.

Тому, кто специально не знаком с математикой, трудно представить себе, как велико многообразие мыслимых законов отображения, среди которых мы могли бы пытаться искать истинный закон или законы формирования отображения реального внешнего мира в мозгу. Между тем вызванное незнакомством с теорией вопроса наивно-реалистическое обеднение гигантского класса

[1] См. мою заметку "Смерть от страха ожидания смерти" (Наука и жизнь. 1965. N 2. С. 149), где названные литературные примеры сопоставлены с реальными описанными случаями.

таких законов уже неоднократно приводило физиологов и клиницистов к ошибочным концепциям, иногда безобидным, а иной раз уводившим далеко в сторону от правильного понимания сущности вопроса.

Характерный пример уже изжитого недоразумения представляет вопрос о том, как обеспечивается прямое видение внешних предметов, несмотря на опрокинутость их изображения на сетчатке глаза. Почему, в самом деле, мы, невзирая на опрокинутость этого изображения, видим реальные предметы не "вверх ногами"? Почему слепорожденные, получив зрение путем снятия катаракт во взрослом возрасте, вынуждены вначале "учиться видеть" то, что в первые часы и дни представляется им непонятным хаосом цветовых пятен, но ни в одной фазе этого обучения не "видят" предметов перевернутыми и не имеют необходимости переучиваться чему-либо в этом смысле? Одни психологи (довундтовского периода) ярко, другие завуалированно делали презумпцию о некоем внутримозговом "зрителе", которому предъявляется в зрительной зоне мозга поэлементный дубляж глазной сетчатки и который, чтобы видеть предметы правильно, обитает в мозгу "вниз головой" (что могла бы здесь представлять собой "голова"?). Другие считали более подходящим предположение, что жгут зрительного нерва перекручен на своем пути на 180° и отображает в зрительной мозговой коре сетчатку, поставленную как надо, с головы на ноги, после чего внутримозговому зрителю уже можно пребывать в более или менее естественной позе. Авторы всех подобных гипотез не замечали, что главная, важнейшая ошибка их взглядов вовсе не связана с вопросом о размещении поэлементного отображения сетчатки в элементах зрительной зоны мозга. Ошибка (как это теперь очевидно для нас) состояла в постулировании раздельного существования в мозгу "зримого" и "зрителя". Первое зачем-то дублировало элемент за элементом наличествующую на сетчатке оптическую проекцию; второй каким-то образом воспринимал, "видел" этот дубляж, вроде того как сам субъект видит окружающий мир. Немного оставалось до того, чтобы постулировать у этого внутреннего зрителя свою "зрительную зону".

Ошибка описанного частного случая уже преодолена к нашему времени, и обрисовать ее стоило только ввиду ее поучительности. Другая важная ошибка, которую следует обсудить, живуча еще и теперь.

V. Генезис общей идеи о поэлементном дубляже в клетках мозговой коры всех полей органов чувств — зрения, слуха, осязания, мышечно-суставной (проприоцептивной) чувствительности — нетрудно проследить. Огромный материал, накопленный экспериментальной физиологией и клиникой мозга начиная с 1870 г. (даты первого открытия в этой области), показал с несомненностью, что не только каждой категории чувствительности соответствует в коре мозга своя обособленная *зона,* но что в пределах этих зон имеется и нечто вроде поточечного соответствия с элементами периферической территории данного вида чувствительности, для одних зон менее, для других более четкого и дифференцированого. Особенно выразительно детализированными среди этих проекционных зон коры мозга оказались расположенные рядом зоны осязания и проприоцепторики, на которые действительно удалось нанести своего рода картографические проекции (правильные, однако, лишь в самых общих чертах) чувствительных поверхностей всего тела.

Текущая переменчивость изменяющихся от момента к моменту информаций, поступающих от органов чувств в упомянутые первично проекционные зоны мозга, заставили по необходимости постулировать существование бок о бок с ними вторичных зон, осуществляющих функции длительного хранения (памяти) впечатлений, передаваемых им первичными зонами, но обладающих такими же, как и те, точечно-проекционными свойствами.

Чтобы подойти теперь к анализу той присущей постулатам ошибки атомизма, которая, видимо, немало зависела от недостаточной осведомленности в области теории отображений и о которой было упомянуто выше, сделаем отступление.

Нетрудно показать с помощью двух-трех простейших наглядных примеров, что могут существовать пары множеств, которые, вне всякого сомнения, целиком проецируемы одно на другое и каждое из которых легко и очевидно расчленимо на составляющие элементы, но для которых поэлементное соотнесение по типу упоминавшихся выше проекций "*E* на *Г*" приводит к явному абсурду.

Исполнительный чертеж машины содержит 1000 штрихов. Чтобы сделать эту машину, мастер должен выполнить 1000 операций. Значит ли это, что выполнение каждого штриха требовало отдельной операции?

Я сделал доклад, состоявший из 1000 слов. Мой оппонент полностью опроверг меня речью также из 1000 слов. Следует ли отсюда, что каждое из слов, произнесенных им, опровергало одно из слов моего доклада?

1000 человек прочли книгу в 1000 страниц. Можно ли понимать это так, что первый читатель прочел первую страницу, второй — вторую, сотый — сотую?

Reductio ad absurdum часто является очень полезным приемом для обнаружения ошибочного хода мыслей. Вооружась приведенными примерами, обратимся к разбору основных положений теории вторичных полей, после чего можно будет попытаться подойти к теоретическому обобщению сказанного.

Что мы видим, осязаем, воспринимаем любым из наших органов чувств? Вещи, предметы. Что является элементами множества окружающего нас мира? Предметы. Что должно явиться элементами для мозговой проекции типа "*E* на *Г*" в соответствующих корковых системах и их клеточках? Ясно, что предметы же, которые фигурируют здесь и как раздельные отображаемые мозгом элементы внешнего мира и как стимулы — сигналы реакций на него. Для них всех и постулируется поэлементная "сигнальная" система мозга, где по клеткам (в своего рода "клеткотеке") размещены все переданные к ним из первичных проекционных зон восприятия — образы конкретных вещей.

Если порочность подобной трактовки внутримозгового отражения еще недостаточно выпукло явствует из сказанного до сих пор, то последуем тем же путем дальше.

Областью мозговой деятельности, монопольно доступной только человеку, является *членораздельная речь.* Как же отображена и системно представлена речь в мозгу человека? Коллекция поэлементных отображений у нас уже есть в виде первой сигнальной системы. Но слова — названия предметов, поэтому достаточно произвести еще одну поэлементную проекцию, исходя из этой сигнальной системы, и мы получим вторую сигнальную систему, так сказать, проекцию проекции, в которой каждому предметно-

сигнальному образу — элементу первой системы будет соответствовать его название во второй. Видимо, атомизм есть нечто очень цепко врастающее в мышление, если до сего времени существуют такие толкования второй сигнальной системы, согласно которым речь, орудие мышления неисчерпаемой мощности, низводится до уровня назывательного словника конкретных предметов в именительном падеже единственного числа.

Ни рамки, ни задачи настоящего очерка не позволяют подробнее задерживаться на затронутой теме. Ограничимся поэтому двумя-тремя вопросами: 1) сигналами чего именно во второй сигнальной системе являются такие элементы ее состава, как "опять", "двумя", "без", "ведь", "или"? 2) как и где поэлементная второсигнальная система-проекция размещает в своем составе такие сигнальные слова, как "ты мыслишь, он не мыслил, мы помыслим, вы мыслили бы, они не будут мыслить" и т.д.? 3) о таких словах-сигналах, как "волновая функция", "кватернион", "антиномия", "трансфинит", может быть, лучше и не говорить?[1].

К такой же категории ошибочных соотнесений двух бесспорно расчленимых на элементы и бесспорно же соотносимых одно с другим множеств относится и бытовавшая на стыке психиатрии и нейрохирургии ныне разоблаченная как ошибка и отвергнутая теория "психоморфологизма", которая классифицировала и подразделяла элементарные психические функции и симптомы их нарушений, соотнося их затем с различными определенными мозговыми локализациями. И здесь, очевидно, аберрация сводилась к той ошибке, которую в соответствии с первым из приводившихся примеров — абсурдов можно было бы назвать "ошибкой машины и чертежа".

VI. Теперь своевременно перейти от иллюстраций к обобщениям. Представим себе, что в множестве *E* среди его элементов имеются связи, тем или иным образом объединяющие эти элементы в подмножества по определенным законам, или даже, что мы сами наложили на множество такие упорядочивающие связи, расчленяющие его на семейства подсистем элементов. Простейшим примером такой операции может служить нанесение на плоскость или на шаровую поверхность системы координат. Можно указать немало примеров и таких множеств, в которых подобного рода расчленение не наложено извне, а присуще множеству самому по себе и нуждается только в том, чтобы быть подмеченным и сформулированным.

Пусть теперь с элементами некоторого множества *M* соотнесены не отдельные элементы *E* (как было в случае поэлементной проекции "*E* на *Г*"), а целые подмножества его элементов — представителей его системного расчленения. В случаях этого рода мы будем называть множество *M моделью* множества *E*, а самый принцип данного расчленения и соотнесения — *оператором* моделирования.

---

[1] Убеждающий пример проверки через практику: не может не остановить на себе внимания выявившаяся невозможность применения многолетней продукции по линии второй сигнальной системы для задач алгоритмирования машинного перевода, где настоящая физиологическая теория языка и речи должна была бы занимать ведущее место. Содержательный анализ сущности и причин этого факта см. в кн.: *Успенский Л.* Слово о словах. М.: Молодая гвардия, 1960. С. 283; *Кулагин О.* Об оперативном описании алгоритмов перевода // Пробл. кибернетики. 1959. Вып. 2. С. 289.

Нет нужды подчеркивать, насколько разнообразными могут быть формы и принципы моделирования. В одних случаях каждой функции из семейства, заполняющего множество — первообраз *E*, соответствует в *M* определенное число (так называемый функционал). В других случаях оператор моделирования обусловливает упорядочивание или группировку функций первообраза в последовательности (континуальные или дискретные) так, что каждой такой последовательности отвечает в *M* своего рода "функция функций". Сами формы выборки функций — представителей первообраза могут обладать очень большим качественным разнообразием. Отображения в модели могут исчерпывающе охватывать все непрерывное множество системных функций, покрывающих первообраз, или воспроизводить только дискретно выборочные из их числа (например, с целочисленными значениями параметров и т.п.), или соотносить с каждым элементом либо констелляцией элементов модели дискретные функции оси первообраза *E*, охваченные вероятностно определяемыми полосами территории вдоль них, и т.д. Сейчас важно сформулировать несколько основных положений, базирующихся на всем сказанном и относящихся прямым образом к нашей теме.

Охарактеризовав расширенные рамки принципа отображений, мы можем с достаточной уверенностью утверждать, что мозговое *отражение* (или отражения) мира *строится* по типу *моделей*. Мозг не запечатлевает поэлементно и пассивно вещественный инвентарь внешнего мира и не применяет тех примитивных способов разделения этого мира на элементы, какие первыми придут в голову (фразы — на слова, чертежа — на черточки), но налагает на него те операторы, которые моделируют этот мир, отливая модель в последовательно уточняемые и углубляемые формы. Этот процесс, или акт мозгового моделирования мира, при всех условиях реализуется *активно*. Действительно, если принцип расчленения, систематизации и образования систем подмножеств налагается на первообраз самим мозгом, то этот процесс сформулирования и применения оператора моделирования активен по самому существу. Если же закономерности внутреннего членения множества *E* присущи ему самому, то обнаружить их, признать их значение и применить в качестве операторного принципа все равно можно только путем активного прощупывания и исследования.

Более чем вероятно, что в теснейшей связи с прежней трактовкой организма как системы, пассивно подвергающейся непрестанному воздействию стимулов, на которые она закономерно отвечает реакциями, стоит и тезис о перманентно-равновесном состоянии организма со средой, в которую он погружен. Между тем этот тезис ошибочен и глубоко механистичен. Ни одна из систем, живых или мертвых, подчиненных второму закону термодинамики, не могла бы ни двигаться, ни изменяться и еще менее приспособительно изменяться (в чем и состоит весь жизненный процесс живых систем), если бы не перманентное *нарушение равновесия*, которое живая система организма непрерывно стремится активно минимизировать, никогда, однако, пожизненно не достигая обращения этого нарушения в нуль. Равновесие для живой системы равнозначно смерти.

Существенное отличие живых систем от системы неживой природы в том, что в первых при неукоснительном подчинении второму закону по общему

итогу всех термодинамических процессов в организме имеет место его преодолевание в смысле увеличения негэнтропии во всех проявлениях активного поведения и структурирования, к чему мы вернемся ниже. Живые системы непрерывно *сами создают* условия нарушенного равновесия, связывая в нераздельном единстве внесение или углубление нарушений равновесия с окружающим миром и борьбу за их минимизацию.

К общей характеристике свойств активного операторного моделирования мира мозгом надо добавить еще несколько положений.

Накладывая на первообраз *E* ту или иную систематизирующую закономерность или формулируя закономерность, подмеченную в самом первообразе, мозг этим вносит в него от себя какое-то количество добавочной информации, но зато получает этой ценой резко сэкономленную количественно, но обогащенную смысловым содержанием информацию об этом первообразе. Образно можно было бы сравнить привносимую изнутри вспомогательную информацию с ферментом, небольшие количества которого, выделенные организмом, создают оптимальные условия для усвоения значительно большего количества питательного продукта.

Попутно делается ясной принципиальная порочность позиции, согласно которой постулировался внутримозговой дубляж чувственных периферий (сетчатка, кожа и т.д.), чтобы быть предъявленным со всей первичной обстоятельностью мозговому „зрителю", уже упоминавшемуся выше. Подобный дуализм „зрителя" и „зримого", из-за которого, собственно, только и требовался этот детальный дубляж, становится излишним и ненужным с позиций активного операторного моделирования. Модель не созерцается извне чем-то противопоставляемым ей самой, а создается слитное, неразделимое единство процессов и механизмов перерабатывания впитываемой информации с создающейся из них моделью, все время изменяющейся, не теряющей сходства и единства с собой и направляющей поток активного поведения организма.

Уже упоминавшееся в качестве базиса для каждой двигательной задачи „заглядывание в будущее", или, как теперь уже можно сказать, *модель будущего*, заставляет признать, что в мозгу сосуществуют в своего рода единстве противоположностей две категории (или формы) моделирования воспринимаемого мира: модель прошедше-настоящего, или ставшего, и модель предстоящего. Вторая непрерывным потоком перетекает и преобразуется в первую. Они необходимо отличны одна от другой прежде всего тем, что первая модель *однозначна и категорична*, тогда как вторая может опираться только на экстраполирование с той или иной мерой *вероятности*.

В качестве небезынтересного сопоставления стоит отметить, что мозговые корковые системы, наиболее тесно связанные с восприятиями (так сказать, входные системы), занимают собой *задние* половины полушарий, где размещены первичные поля зрения, слуха и осязания и где повреждениям или утратам мозгового вещества всегда сопутствуют нарушения элементарных или обобщающих процессов восприятия. Корковые системы, столь же тесно связанные с выполнением движений, их инициативой, программированием, стратегией и т.д. (выходные системы), заполняют собой *передние* половины полушарий. Это создает и любопытную аналогию с патриархом нервной системы — спинным мозгом, где налицо такое же относительное расположение входных (зад-

них) и выходных (передних) нервных корешков. Хорошо известно, что выпадение какой-либо функции вслед за утратой того или другого участка мозга означает отнюдь не то, что выпавшая функция была локализована в утраченном участке, а только то, что его наличие и его проходимость были существенно необходимы для беспрепятственного протекания данной формы нервного процесса: выход из строя передаточной шестеренки часов останавливает часы, но функция часов отнюдь не "локализована" в сломавшейся шестеренке. Не строя поэтому неправомерной гипотезы о раздельной мозговой локализации моделей ставшего и будущего, мы, однако, вправе представлять себе динамику мозгового нервного процесса как два встречных потока, наиболее тесно связанных, один — с субстратом задних половин полушарий, другой — с субстратом передних. Анализ биоэлектрических явлений мозга, углубленный и опирающийся на новые концепции, сможет, вероятно, прояснить очень многое в этом направлении.

Вопросы, относящиеся к модели ставшего, выходят за рамки настоящего очерка. К тому же по этой линии уже многое расследовано психофизиологами. Ограничимся только одним примером, который сможет попутно показать, какую огромную практическую важность может подчас иметь выяснение структуры оператора и операторной модели объектов воспринимаемого мира. Дело касается процессов восприятия конфигураций.

Зрительный образ круга имеет пять степеней свободы (или пятимерный континуум) многообразия оптических проекций его на сетчатку глаза. Не переставая быть треугольником, соответствующая этой фигуре оптическая проекция имеет шесть степеней, проекция буквы "Н" — 12 степеней свободы, другие письменные знаки — иногда еще большие количества. Это не препятствует, однако, тому, чтобы мозговой операторный процесс (пока совершенно неизвестной нам структуры) соотносил в каждом из подобных примеров все гигантское многообразие их оптических изображений и (предполагаемых) поточечных проекций к единому смысловому коду фигуры. Не может быть сомнения, что будущая, действительно работоспособная машинная модель для опознавания *букв* независимо от размера и рисунка шрифта будет работать *не путем пассивного* и неосмысленного сканнирования, как описывавшиеся доселе опытные образцы, а только по принципам мозгового операторного моделирования, когда они будут для этого случая познаны.

VII. Та замечательная форма мозгового моделирования, которая только вслед за подъемом интереса к физиологии активности и смогла попасть в поле зрения исследователей, — *моделирование будущего,* к которому мы теперь переходим, возможна, разумеется, только путем *экстраполирования* того, что выбирается мозгом из информации о текущей ситуации, из "свежих следов" (уже обрисованных мною выше, в очерке 8) непосредственно предшествовавших восприятий, из всего прежнего опыта индивида, наконец, из тех активных проб и прощупываний, которые относятся к классу действий, до сих пор чрезвычайно суммарно обозначаемых как "ориентировочные реакции" и, несомненно, резко недооцененных в отношении их фундаментальной значимости.

Сам по себе комплекс нервных процессов, образующий модель будущего, еще настолько неясен и загадочен, что сказать о нем можно немногое. Кроме бесспорного положения, что этот комплекс существует и играет важ-

Таблица 1

Исходы	A	B	C...	M...	X	Y	
Вероятности	*Pa*	*Pb*	*Pc...*	*Pм...*	*Px*	*Py*	$\Sigma p = 1$
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
Двигательная задача	0	0	0...	1...	0	0	

нейшую, направляющую роль в том активном воздействии на окружающий мир, которое упоминалось выше, нужно отметить следующее.

В резком отличии от модели ставшего модель будущего может иметь только *вероятностый* характер. Антеципация, или предвосхищение, того возможного исхода либо исходов, к которым движется текущая ситуация, возможна только путем экстраполирования, которое, вообще говоря, никогда не может привести к категорическому результату. В любой фазе этого процесса мозг в состоянии лишь наметить для предстоящего момента своего рода таблицу вероятностей возможных исходов (табл. 1).

Вряд ли нужна особая оговорка, что в интересах анализа мы прибегаем здесь к очень большой схематизации.

В то же время двигательная задача, которую определяет для себя индивид, формулирует с категоричностью единственный исход из текущей ситуации, какова бы ни была его априорная вероятность в таблице самой по себе (хотя бы она там равнялась нулю). Таким образом, активность, направляемая противопоставлением вероятностной модели будущего и определившейся задачи, представляет собой динамику борьбы индивида за превращение вероятности *Pм* нужного ему исхода в единицу или совершившийся факт с аннулированием всех остальных табличных вероятностей. Очевидно, что эта борьба ведет к понижению энтропии системы, включающей в себя индивида и его непосредственное окружение, т.е. представляет собой всегда *негэнтропический процесс.*

Описываемая борьба протекает в сложном, многократно переменном поле условий. Во-первых, доступная мозгу экстраполяционная оценка перспектив и исходов поневоле грубо приблизительна (хотя, вероятно, соотносительно с потребностями данного живого существа она не грубее у самых низких по уровню организации животных, чем у существ с высокоразвитым мозгом), причем погрешности экстраполяции возрастают с удлинением того промежутка времени Δt, на который делается попытка предвосхищения. Во-вторых, сама оценка зависит от срока, каким располагает субъект для ее выполнения: если события развертываются быстро и индивид находится в "жизненном цейтноте", то он вынужден ограничиваться первыми, грубо разведочными оценками, не имея времени для более точных. Но даже и вне условий угрожающего цейтнота выбор стратегии поведения является всегда и выбором между быстрыми, хотя и менее уверенными и более медленными, но более надежными оценками. В-третьих, наконец, само поле условий изменчиво во времени и находится вне зависимости от действий индивида, так что факти-

чески он все время находится в своего рода конфликтной ситуации с окружением. Уже отсюда видно, какую важность для физиологии активности должна иметь *разработка теории игр*.

К числу ближайших задач, требующих совместной работы физиологов и математиков, относится вопрос о том, какого вида экстраполяции используются нервными системами как низших, так и высших организмов и какими механизмами они располагают для таких отправлений. В области низовых, чисто биомеханических регуляций, опережающих движение на минимальные отрезки времени, мы, видимо, встретимся с экстраполяцией по типу разложения в ряд Тейлора с использованием отправных значений двух первых производных, сигнализируемых суставными и мышечными датчиками (так называемая градиентная экстраполяция). По отношению к более ответственным в смысловом плане сторонам движения, которые могут уже потребовать перепрограммирования на ходу, высшие координационные системы и синтезы мозга обнаружат перед исследованием формы вероятностной экстраполяции, находящейся у них "на вооружении", и, несомненно, также те методы активного прощупывания, которые находят формулировку и практическое применение в современной вычислительной математике (так называемые методы нелокального поиска)[1].

Необходимо подчеркнуть решающее принципиальное различие между этими намечаемыми физиологией активности проявлениями экстраполяционного поиска и путем, описывавшимся бихевиористами под названием "проб и ошибок". Под последними понимается последовательность попыток, каждая из которых не обусловлена предыдущими и в одинаковой с ними мере производится наудачу. Здесь активна только внешняя форма — выполнение пробных действий, накопление же опыта трактуется, по сути, как чисто пассивный статистический учет удач и наудач. Образно говоря, тут каждая проба информирует о том, что "нельзя", не указывая ничем, где и как искать то, "что нужно". Не случайно этот принцип так легко имитируется в машинных моделях.

В отличие от него тот активный "нелокальный поиск", который, видимо, является действительным орудием ориентировочного поведения, после первой же пары попыток, случайных или приближенно направленных элементарными градиентными механизмами, заключает по ним, как и куда должен быть сделан очередной шаг. Каждая проба уточняет таким путем оптимальное направление, по которому может быть добыта наибольшая и самая ценная информация.

VIII. Что известно сегодня экспериментальной физиологии о проявлениях и эффектах "модели будущего" и какие направления исследования могут здесь быть намечены на основе всего точно известного сейчас? Обратимся снова конкретно к движениям.

Из многообразных функций центральной нервной системы по управлению двигательным актом раньше всех остальных уяснились процессы корригирования движения по ходу его выполнения, совершаемые посредством колец обратной связи с многочисленных датчиков тела. Посредством такой непрерывной коррекции обеспечивается важнейшая биомеханическая предпосылка для выпол-

---

[1] *Гельфанд И.М., Цетлин М.Л.* Принцип нелокального поиска в системах автоматической оптимизации // Докл. АН СССР. 1961. Т. 137, вып. 2.

нимости любого целенаправленного движения: преодоление всего огромного избытка степеней свободы, которыми наделены наши двигательные органы, и превращение их этим путем в управляемые системы. Эта функция и представляет собой техническую сторону *координации движений.*

В протекании координационного процесса (в микроинтервалах времени и пути движения) важнейшую роль играют характерные особенности самого общего и первичного свойства всех возбудимых органов, состоящего в том, что все они обладают *конечными* и при этом *переменными* значениями *порогов возбудимости.* Их абсолютные величины чрезвычайно разнообразны у разных органов, а у каждого данного органа могут изменяться в широких пределах в зависимости от их фонового физиологического состояния.

Отсюда проистекают следствия первостепенного значения для управления двигательным аппаратом. Центральные мозговые системы организации и координирования двигательных актов, оснащенные всем богатством контрольных чувствительных датчиков, обладают благодаря последнему из названных выше свойств широкими возможностями для того, чтобы не только исправлять post factum возникающие рассогласования между намерением и действительным ходом движения. Опираясь на намеченную программу действия, центральная нервная система в состоянии осуществлять и действительно осуществляет еще и *преднастройки* возбудимости всех занятых чувствительных и двигательных элементов. Эти интереснейшие, все еще пока ощупью изучаемые регуляции ante factum, как бы опережающие движения на микроотрезке времени и явственно связанные со всеми обсуждавшимися выше механизмами антеципации и экстраполяции, получали в различных условиях наблюдения и от разных наблюдателей названия то нервно-мышечного *тонуса,* то физиологической *установки,* то (в последние годы) функции ретикулярной формации мозга, хотя все большее количество данных говорит о том, что здесь мы имеем дело с одним и тем же обширным кругом взаимосвязанных фактов.

В наиболее точном и современном определении нервно-мышечный тонус есть центрально управляемая настройка всех функциональных параметров каждого мышечного элемента и его эффекторного нервного волокна. Эта настройка сказывается и на механических свойствах мышцы, как в возбужденном, так и в невозбужденном состоянии (ее упругости, растяжимости, вязкости), на степени и быстроте возбудимости ее нерва и, вероятно, на скорости проведения по нему возбуждения. По ходу движения одни мышцы заранее (за доли секунды) притормаживаются, возбудимость других, которые должны начать действовать, увеличивается вследствие понижения их силовых и временных порогов и т.д. Эта фоновая преднастройка важна еще и потому, что скорость движения импульсов-сигналов по нервам ограничена, а при переходах с одного нейрона на другой происходят еще потери миллисекунд на "синаптические задержки". Таким образом, без описанного опережения полезные эффекты действия сигналов обратной связи неизбежно запаздывали бы по отношению к тем нарушениям движения, о которых они сигнализируют.

Эти процессы опережающей преднастройки наблюдаются при современной электрофизиологической технике лишь с трудом и отрывочно. Естественно, что удобнее всего улавливать их *перед началом* движения, когда слабые

и нежные биоэлектрические проявления тонических команд не заслонены гораздо более мощными и высоковольтными потенциалами действия. Эти предваряющие начало движения тонические сдвиги именуются тогда нервно-мышечными эффектами *установки.* Усовершенствования техники регистрации биоэлектрических явлений в мышцах и нервах позволят изучать установочные процессы ("стрелочные переводы", по образному выражению Lapicque) в течение всего двигательного акта.

Наиболее интересные, но еще только начинающие выявляться проблемы связаны, конечно, с центральной мозговой регуляцией установочных процессов. Некоторые из проблем, намечающихся в этом направлении, неожиданным образом снова и с новой стороны подведут нас к коренным вопросам мозгового отображения и кодирования. Начнем несколько издалека.

Физиологи уже давно и четко разграничивают две очень различающиеся между собой формы возбудительного процесса, одновременно и совместно существующие в нервном и мышечном субстрате. Одна из этих форм, более молодая в эволюционной истории (ее правомерно называть неокинетикой), проявляет себя ритмическими цепочками взрывообразных импульсов возбуждения (так называемых пиков действия, или спайков, — spikes), подчиненных закону "все или ничего", т.е. имеющих при каждом данном значении своих параметров возбудимости одну и ту же высоту в ответ на воздействия любой надпороговой силы. Эти импульсы распространяются без затухания и со значительными скоростями (метры и десятки метров в секунду) вдоль нервных волокон. Благодаря тому что последние на всем протяжении "рефлекторных колец" снабжены изолирующими миелиновыми оболочками со свойствами диэлектриков, нервные импульсовые коды, бегущие по смежным волокнам, тесно упакованным в нервном стволе, не создают взаимных помех и утечек, что дает полное основание обозначить их как *канализованную* или, короче, *каналовую* форму нервного процесса.

Вторая форма проявлений активности в нейронах и мышечных единицах, более древняя по своему появлению в филогенезе (палеокинетика), сохранившая у высших млекопитающих и человека монопольное положение по управлению гладкой мускулатурой внутренних органов, приняла на себя в их органах чувств и движений роль передатчика тех тонических настроечных функций, о которых выше шла речь. Ее проявления резко качественно отличаются от неокинетических: они дозируемы, т.е. чужды закону "все или ничего"; они двузначны, т.е. могут проявлять себя возбуждением или торможением; их активность лишена взрывообразности, допуская вместо миллисекундных дискретных пиков медлительные волны любой формы и высоты. Самое своеобразное свойство их заключается в том, что диэлектрические оболочки волокон *не составляют* для них *преграды,* так что они, по крайней мере какой-то важной своей составляющей, способны распространяться *поперек волокон*[1]. Справедливо поэтому данную форму в противоположность

[1] Указанную разницу в свойствах проницаемости нервных оболочек по отношению к неокинетическим и палеокинетическим формам нервного процесса естественнее всего объяснять тем, что этот процесс ни в той, ни в другой форме не исчерпывается только электрическими явлениями и, несомненно, имеет ряд еще неизвестных слагающих и характеристик.

неокинетической каналовой определить как *волновую* форму нервного процесса. Естественно, что в сравнительно тонких периферических нервных стволах последнее свойство не находит себе достаточного простора. Зато по отношению к головному мозгу можно утверждать с уверенностью, что именно эти волновые процессы, пронизывая значительные толщи мозгового вещества и вдобавок черепные покровы, улавливаются в настоящее время посредством электроэнцефалографии как то, что в нестрогом обозначении именуется *биотоками головного мозга.*

Не надо забывать, что канализованные, строго изолированные друг от друга неокинетические цепочки импульсов в нейронах головного мозга не в состоянии выбиться из русел своих оболочек и обнаружить себя в электроэнцефалограммах. Энцефалограммы, кстати сказать, не имеют никакого сходства ни по частотам, ни по формам с импульсовыми цепочками „все или ничего", наблюдаемыми в нервных волокнах, ни с любыми суперпозициями их. Не только соображения аналогии, но и ряд кинетических наблюдений, особенно над аномалиями электроэнцефалограмм при болезненных состояниях, не оставляют сомнения в том, что и в головном мозгу волновая форма процессов играет какую-то важную роль в регуляции канализованных процессов. Более чем вероятно, что их регуляционная активность стоит в теснейшей связи с функциями *ретикулярной формации* мозга, упоминавшейся выше. Не касаясь далее этой части проблемы, интенсивно и успешно разрабатываемой в наши дни экспериментаЛистами и клиницистами, подойдем к вопросу с другой стороны.

IX. История науки о функциях мозга пережила за два столетия своего существования несколько крутых колебаний между двумя противопоставлявшимися друг другу воззрениями на связь этих функций с мозговым субстратом. После того как в первой половине XIX в. труды Флуранса и его современников, казалось, обеспечили полное торжество антилокализационной точки зрения, т.е. признания мозговых процессов исключительно волновыми, протекающими на недифференцированном субстрате, открытие проекционных зон коры (с 1970 г.) заставило маятник взглядов резко качнуться в другую сторону. Именно накапливание все большего количества фактических данных о первичных проекциях привело к интенсивному развитию всех тех воззрений клеточного центризма, которых мы уже касались в этом очерке. Головной мозг стал трактоваться как высокодифференцированное вместилище исключительно каналовых процессов в нервных проводниках (аксонах) с клетками-головками соответствующих нейронов в роли спусковых кнопок действия в двигательных отделах и в роли хранителей-накопителей приобретенного опыта миропознания — в чувствительных зонах.

Узость этой позиции была настолько явной, что уже на памяти живущего поколения, в 30-х годах, "крайняя левая" антилокализационизма снова подняла голову, пытаясь доказать (школы Lashley, Weiss и др.) полную обезличку клеток головного мозга и необходимость переноса всего центра тяжести учения о дифференциации нервных процессов на поиски специфичности самих импульсовых кодов, протекающих по нервам и по мозговой массе.

Сейчас нет уже надобности решать вопрос о правоте того или другого из крайних направлений, ставить проблему в плоскости "или — или". Хотя в

гигантском фактическом материале, накопившемся к нашему времени, есть солидные аргументы в пользу как одной, так и другой точки зрения, было бы уже нецелесообразно подвергать их дискуссии или же искать эклектических примирительных решений. Настало время ясно понять следующее.

Высочайшая дифференцированность коркового мозгового субстрата, особенно у высших животных, находится сейчас вне всякого сомнения. Но именно поэтому в огромном конгломерате активных возбудимых элементов-нейронов, находящихся в полужидкой электролитной среде, есть все условия для развития поперечных волновых процессов взаимодействия между множеством этих элементов. Более того, трудно было бы оспаривать сейчас, что *чем выше возрастают морфологическая, "локализационная" дифференциация и расчлененность мозгового субстрата, тем интенсивнее и предпосылки к развитию в нем или на нем и нелокализуемых, волновых процессов.* Любой электрик, имеющий дело с переменными токами и полями, подтвердит, какую заботу приходится проявлять по части экранировки собираемого агрегата от взаимных индуктивных и емкостных влияний его элементов. Конечно, в безмерно большей степени это должно относиться к сложнейшему живому агрегату внутри жидкой электролитной массы, свойства и заряды которой являются переменными в функции как времени, так и координат каждой его точки.

Менее всего правильным было бы представлять себе волновые процессы головного мозга как макроскопические фронты, сравнимые по масштабам с габаритами всей черепной коробки. Наоборот, в соответствии с микроскопической неоднородностью мозговой массы по ее изменчивым электрическим параметрам и мгновенным распределениям в ней зарядов необходимо представлять себе эти процессы как имеющие очень тонкую, "кружевную" пространственную и временную структуру. Те колебания, которые регистрируются через черепную крышку как электроэнцефалограмма, представляют собой, конечно, не более как слитный "гул".

Трудно сомневаться в том, что на волновые процессы, складывающиеся из бесчисленных "поперечных" взаимодействий нейронов и проводящих путей мозга, должна налагаться и, видимо, в какой-то форме доминировать над ними тоническая регуляционная активность со стороны ретикулярной формации гипоталамического аппарата, а, возможно, также со стороны мозжечка и стволовых клеточных ядер мозга. В этих областях еще бесконечно больше несделанного, чем сделанного!

Вся эта констатация, во весь рост ставящая перед физиологией задачу изучения центрально-нервных процессов как неразрывного синтеза каналовых и волновых слагающих, снова и напоследок подводит нас к вопросу о мозговых моделях и о проблеме раздвоения "зримого" и "зрителя".

Клеточные центристы старательно обходили вопрос о том, что же именно отлагается в клеточках вторично-проекционных полей в качестве поручаемого им содержания. Что (кроме постулированного школой условных рефлексов неопределенного "хронического возбуждения") запечатлевается в клетке, которая должна хранить месяцы и годы образ стола, лампы, гипотенузы или наименования их? Если эти содержания переданы мозгу соответствующими кодами, то как, по каким признакам такой код находит для себя подходящую, еще не занятую клетку и в каком виде он там поселяется?

Вопрос о том, что представляют собой информационные мозговые коды и сохраняющие их в мозгу механизмы памяти, до сих пор остается далеко не ясным. Но необходимо подойти к нему с более современных позиций.

Неправомерность противопоставления друг другу "зримого" и "зрителя" в мозгу уже была подчеркнута выше. На месте пассивно ожидающего информаций "зрителя" мы мыслим себе теперь активные операторы, объединяющие в синтетические динамические формы захват информации, ее модельное переоформление и инициативу предпринимаемых действий. Физиологически также на месте стационарных клеток, пассивно вбирающих в хранящих каким-то образом микроскопические атомы отображения мира, мы ожидаем встретиться с динамикой синтетического нервного процесса, одновременно многоканалового и волнового, едва лишь начавшего изучаться в этих аспектах. Наиболее обоснованным представляется сейчас суждение, что противопоставление первоначально безличной мозговой клетки вводимому в нее совершенно инородному и чужому ей смысловому содержанию столь же неправомерно, как и противопоставление внутренних "зрителя" и "зримого".

Если каждый активный процесс восприятия-действия связан с образованием в недрах мозга соответствующего оператора, то наиболее вероятной формой для последнего должен являться сформированный определенным образом контур, обусловливающий новый маршрут циркуляции по нему и каналового, и волнового процесса, — контур, для которого существенна и характерна сама динамическая форма его организации и связей, а не заполнение тем или другим содержимым вовлеченных в него клеток, синапсов, межуточной ткани и т.д. Для наибольшей краткости и схематизации можно было бы сказать, что смысловое содержание и действенность данного участка модели мира не заключается в чем бы то ни было, а сами есть не что иное, как оператор в установленном здесь смысле этого термина.

Настоящий очерк о намечающихся путях и задачах физиологии активности не претендует на то, чтобы быть программным, и поэтому, конечно, далеко не исчерпывает круга относящихся сюда вопросов. В нем оставлена совершенно в стороне вся проблема *аффективной мотивации* произвольных действий и физиологии связи между аффективной и познавательной активностью. Не могли быть затронуты в нем и вопросы ярко выраженных негэнтропических процессов развития и роста организмов, начиная со стадии оплодотворенной зародышевой клетки и закодированной в ней тем или иным образом *модели будущего* организма, который будет из нее построен. В стороне остались и такие кардинальные вопросы структурирования, как взаимоотношения схемы и метричной формы, качественного и количественного в процессах развития и действования. И все же, если и по затронутому неполному кругу вопросов этот очерк сумеет пробудить те или другие перспективные для исследовательской работы мысли, веские возражения и контраргументы и т.д., цель его будет достигнута.

Очерк двенадцатый

НОВЫЕ ЛИНИИ РАЗВИТИЯ В ФИЗИОЛОГИИ И БИОЛОГИИ АКТИВНОСТИ[1]

Начиная примерно со второй четверти нашего века физиология вступила в новую фазу или новый период своего развития, пришедший на смену "классическому" периоду. Весь путь, пройденный физиологией за предшествующее столетие и достойный названия "классического", совершался под знаком стихийного материализма. Это мировоззрение руководило и прославившими свое время исследователями (их было слишком много, чтобы перечислить здесь даже самые крупные имена) и популяризаторами, на книгах которых воспитывались младшие поколения.

Стихийный материализм претерпел немало боев как с откровенными мракобесами фидеизма, так и с более тонкими и опасными противниками из виталистического лагеря. Эти бои способствовали тому, что материалистические воззрения на природу организма и совершающихся в нем процессов, на мозг и мышление получили закалку и стали мощным оружием идеологической борьбы против всевозможных поползновений сторонников идеалистических взглядов.

Отечественная наука может по праву гордиться тем, что выдвинула блестящую плеяду физиологов мирового значения, авторов важнейших исследований по всем разделам физиологии.

И если наше время смогло открыть перед физиологической мыслью новые горизонты и перспективы, то только благодаря тому, что физиология обладала уже важнейшими отправными точками в сокровищнице достижений этих корифеев классического периода науки о жизнедеятельности.

Вся история положительного знания приводит к неоспоримому выводу, что наукоснительное развитие всех отраслей науки о природе от древнейших времен, от Фалеса и Пифагора, до наших дней обязано беспрерывным прогрессом тому, что каждая очередная ступень развития науки находила в себе силы для беспощадного преодоления предыдущей.

Все исторические примеры, начиная с торжества гелиоцентрической системы и кончая той революцией, которую в начале нашего века пережила физика, говорят о том, что мы должны уметь соединять в себе преклонение и пиетет перед крупнейшими учеными предшествующей эпохи с безбоязненным отрицанием в их творениях того, что уже пережило свою фазу прогрессивности и может стать (как бывало не раз) тормозом для дальнейшего развития науки.

В естествознании, как и всюду, есть великие деятели, но нет и не может быть непререкаемых авторитстов.

Преемственность развития и его непрерывность — не одно и то же. История каждой ветви естествознания знает периоды (иногда очень длительные) спокойного и непрерывного развития по установившемуся руслу. Но эти периоды

[1] Очерк был опубликован в книге "Философские вопросы высшей нервной деятельности" (М.: Наука, 1963).

непрерывности сменяются время от времени диалектическими скачками развития, полосами то более мягкой, то бурно революционной смены устоявшихся представлений и концепций, вроде той крутой ломки самых фундаментальных понятий физики, которая была начата трудами и открытиями Планка, Эйнштейна, Бора и их знаменитых современников. Эти фазы диалектического отрицания и антитезы не менее преемственны в смысле их исторической необходимости и обусловленности, нежели полосы спокойного и непрерывного развития, но они отражают назревшую по тем или иным причинам необходимость критического пересмотра отправных точек мышления, свойственных завершившемуся периоду данной науки.

Все великие заслуги физиологии классического периода не могут уже заслонить от нас того, что она — дочь своего времени — явилась в основном плодом механистического материализма. Несомненно, на нашей обязанности лежит и выяснение тех недостатков, имманентно присущих механистической методологии в естествознании, которые в полной мере отразились в воззрениях представителей классического периода физиологии, и постановка научной физиологии на прочные рельсы материалистической диалектики.

По-видимому, всем ходом исторического развития и возникновением новых производственных форм приходится в первую очередь объяснить зарождение как тех новых линий развития физиологии, которым посвящен настоящий очерк, так и тех весьма общих задач организации труда, которые привели после ряда стихийных попыток к рождению научной кибернетики. Если понимать кибернетику как общую науку об управлении сложными системами информации и связи (так именно она и будет пониматься во всем последующем изложении), то обнаружится, что очень большая и важная часть вопросов, вставших перед современной физиологией и направивших ее на новые пути развития, близко и тесно соприкасается с теми более общими теоретическими задачами, для разрешения которых и была предпринята разработка научной кибернетики.

Отсюда делается понятным то, что кибернетика нашла и продолжает находить для себя вдохновляющие примеры в новых открытиях и материалах физиологии и что физиология (главным образом наша отечественная) сумела сформулировать некоторые из наиболее важных кибернетических понятий раньше, чем появились на свет первые обобщающие труды зарубежных кибернетиков. Так или иначе обнаружившаяся близость и прямая связь между актуальными задачами физиологии и теми проблемами, над которыми работает кибернетика, приводят к тому, что последняя оказывается в настоящее время ценнейшим методическим орудием для физиологического исследования. Таким орудием при правильном и умелом его использовании является и выработанный кибернетикой круг понятий и терминов, и побуждаемые ею к разработке новые ветви математики, и, наконец, те неисчерпаемо богатые технические ресурсы электроники, которые оказалось возможным в разнообразнейших видах поставить на службу физиологическому исследованию.

Необходимо лишь еще раз подчеркнуть, что было бы глубоко ошибочно рассматривать кибернетику как ввезенную на нашу почву определенную доктрину с теми или иными достоинствами и пороками (так у нас и пытались

рассматривать эту науку первоначально). Это наука, которая может и должна быть поставлена на правильные методологические рельсы и которая способна принести неоценимую методическую пользу биологической науке вообще и физиологии в частности.

Последний, приблизительно полувековой период является временем глубоких и очень разносторонних сдвигов, продолжающихся и сейчас и касающихся как объектов исследования, так и всей теории и методологии физиологической науки. Прежде всего физиология классического периода была почти исключительно *физиологией животных* с постепенным типовым повышением их уровня по филогенетической лестнице (лягушка — голубь — кошка — собака — макака). В связи с этим она слабо соприкасалась с практикой. В последний период, наоборот, все более повышается удельный вес физиологии человека и возрастает количество точек ее практического приложения.

На место характерного для классики стремления изучать функции органов и систем в состояниях покоя (декапитация, наркоз, привязной станок) приходит исследование человека в условиях деятельности, возникают прикладные дисциплины (физиология труда, биомеханика, физиологическая профессиография и т.д.). Это перемещение интереса в сторону деятельных рабочих состояний особенно сказывается в повышении внимания к двигательным функциям — разделу физиологии, бывшему, за минимальными исключениями, в полном забросе в течение классического периода.

Наряду с этими изменениями объекта исследования совершается глубокий, принципиальный пересмотр и переработка самых основных понятий предшествующего периода.

Главным знаменем и ведущим принципом классического периода являлась *рефлекторная дуга.* В полной мере были оценены положительные методологические черты этого принципа: возможность исчерпывающего материалистического детерминизма и ясность постановки основной задачи — нахождения закономерных входно-выходных взаимоотношений организма с окружением, формулирования передаточных функций, наконец, четкой трактовки организма как высокоорганизованной реактивной машины.

Характерный для механистического материализма атомизм, стойкая уверенность, что целое есть всегда сумма своих составных частей и ничто более, легко позволяли мириться со многими упрощающими построениями, уже не выдерживающими в наши дни натиска новых фактов и современной методологии. Принятие атомистических воззрений позволяло рассматривать целостный организм как совокупность клеток (см. концепции Биша или Вирхова), а его поведение и жизнедеятельность — как подобные же совокупности или цепи рефлексов. Воззрениям стихийных материалистов, недооценивавших решающе важный фактор целостности и системности организма и его функций, чуждо было понимание того, что *рефлекс — не элемент действия, а элементарное действие,* занимающее то или другое место в ранговом порядке сложности и значимости всех действий организма вообще.

Установленный к нашему времени всеобщий факт регуляции и контроля всех отправлений организма по принципу обратной связи заставляет признать необходимость замены понятия рефлекторной дуги, не замкнутой на пери-

ферии, понятием *рефлекторного кольца*[1] с непрерывным соучаствующим потоком афферентной сигнализации контрольного или коррекционного значения. Судя по всему, даже в самых элементарных видах рефлекторных реакций организма имеет место кольцевое замыкание указанного типа, лишь ускользавшее от внимания вследствие краткости и элементарности этих реакций. Таким образом, приходится рассматривать рефлекторную дугу как первое приближение к фактической картине основного типа нервного процесса, приближение, прогрессивная роль которого (в свое время очень значительная) к настоящему времени уже сыграна.

Важнейшее принципиальное значение перехода от структурной схемы дуги к схеме кольца не ограничивается признанием огромного значения контрольно-коррекционной афферентации[2] в каждом случае упорядоченного реагирования. На месте атомизированной цепочки элементарных рефлексов, не связанных ничем, кроме последовательного порядка так называемого динамического стереотипа и поэтапной "санкционирующей" сигнализации, современное физиологическое воззрение ставит *непрерывный циклический процесс* взаимодействия с переменчивыми условиями внешней или внутренней среды, развертывающейся и продолжающейся как целостный акт вплоть до его завершения по существу.

Эта концепция позволяет сблизить между собой две обширные группы физиологических процессов — эффекторные и рецепторные. В последних сейчас отчетливо прослеживается кольцевой тип связи между эфферентными и афферентными нервными импульсами. Именно кольцевой связью объясняется неизменно активный характер протекания всех видов рецепций. Внешние органы чувств всех модальностей оснащены мускулатурой, как гладкой, так и поперечно-полосатой, участвующей в настроечно-приспособительных изменениях в этих органах. Сам процесс восприятия протекает не как пассивное запечатление (вдобавок с подчеркиванием необходимости повторов для усиления проторительного эффекта, как если бы здесь был применим закон Тальбота), а как активный от начала до конца процесс, о чем речь будет ниже.

Решающую важность кольцевой структуры процессов управления двигательными актами можно уже считать общеизвестной. Здесь следует упомянуть только о том, что весь характер работы рецепторов и сенсорных синтезов при выполнении ими контрольно-коррекционных функций в кольцевом процессе управления двигательными актами оказался, по современным данным, глубоко отличным от функционирования этих же рецепторов в сигнально-пусковой роли[3]. С позиций незамкнутой рефлекторной дуги могла быть замечена и принята в расчет только вторая из названных выше форм функционирования — восприятие безусловных или условных стимулов реагирования, что оставляло вне поля зрения глубоко важные формы работы рецепторики как неотрывного участника кольцевых процессов взаимодействия с внешним миром.

[1] Термин "рефлекторное кольцо" предложен, по-видимому, впервые автором (см.: Основы физиологии труда. М.: Биомедгиз, 1934. С. 447 и др.).

[2] Термин "обратная афферентация", предложенный П.К. Анохиным, мало удачен, так как никакой "необратной" афферентации (нецентростремительного направления) вообще не существует.

[3] См. очерк 8-й.

Уже упоминалось выше о вирховианской клеточной мозаике и трактовке сложных смысловых двигательных актов как цепной постройки из элементарных кирпичиков-рефлексов. Но этот же принцип мозаичности использовался в рассматриваемом периоде еще гораздо более широко. Вслед за обнаружением в коре головного мозга первичных проекций сенсорных и сенсомоторных полей стала очевидной необходимость допустить рядом с этими проекциями, передающими мозгу всю текущую сенсорную информацию, области, в которые передаются и складываются впечатления для длительного хранения в памяти.

Эта необходимость привела к созданию очень детально разработанной принципиальной схемы работы мозга, названной *клеточным центризмом* (С.С. Корсаков, И.П. Павлов, В.М. Бехтерев и др.). В основе этой предположительной схемы лежали представления: а) о первоначально порожних клетках, каждая из которых в какие-то очередные моменты жизни заполнялась микроэлементами информации, прибывающей от органов чувств; б) о проекции в эти клеточные поля сложных восприятий из внешнего мира по простейшим принципам поэлементного соотнесения множества элементов картины мира к множеству клеток, воспринимающих и хранящих эти элементы.

Эта концепция создавала возможность трактовать совокупность накопленного в течение жизни сенсорного опыта как коллекцию или совокупность запечатленных в клетках памяти элементов этого сенсорного опыта в их сигнальной роли (напомним, что это была единственная роль рецепторов, известная адептам рефлекторной дуги). Речевую систему, сложнейшую по своей структуре и глубокому своеобразию отношений между мыслью и словом, та же мозаичность вполне последовательно представляла как еще одну поэлементную коллекцию — словник, разнесенный по корковым клеткам того же типа, что и выше.

С этой интерпретацией речи (в частности, устной речи) как сигнальной системы связан, помимо основной методологической ошибки мозаичизма, еще один своеобразный недосмотр со стороны авторов этой системы. Генетически в развитии речевой функции имели место, по-видимому, два этапа: этап смысловых сигналов, звуковых или жестовых, и этап формирования знаковой системы как орудия отображения и осмысления мира.

Разновременность того и другого этапов в филогенезе лучше всего подтверждается, во-первых, многочисленными, быстро скапливающимися к настоящему времени фактами наличия смысловых сигналов обоих видов (звуки и жесты) у ряда животных, как позвоночных (млекопитающие и птицы), так и насекомых (пчелы, кузнечики и др.), и, во-вторых, особенно ярко легкой дрессируемостью многих, и отнюдь не "высших", животных на фонематические кодовые сигналы, действующие в этом случае совершенно так же, как и иные условные стимулы (свет, звонок, чесалка и т.п.). То, что отличает речевую систему человека от указанной очень древней способности животных, состоит как раз в том, что поднимает ее над сигнальным уровнем на высшую качественную ступень, не снимая, конечно, и ее сигнальной функции, но отводя последней лишь частный и наименее значимый участок всей системы.

Высокоразвитая речевая система человека аналогична математической алгебре (может быть, это и создало возможность ее дальнейшей формализации

до "логической алгебры" Буля и др.). Эта аналогия не бросается сразу в глаза, по-видимому, только вследствие нашей привычки пользоваться речью. Для математической алгебры характерно наличие условных знаков-символов (такими обычно служат буквы) и операторных символов, обозначающих функциональные отношения между первыми и те действия, которые надлежит над ними произвести.

Это же наблюдается и в структурной речи, свойственной человеку. Ее номинативные символы (имена, обозначения качеств, причастные формы и т.д.) представляют собой условные фонемы или графемы, обозначающие различные содержания в составе мыслительного процесса. Наряду с ними имеет место богатая лексика слов-операторов или этимологических характеристик, создающих между первыми смысловые функциональные отношения и превращающих речь — словник в речь — орудие познания мира и действования в нем.

Сами эти слова-операторы (не, под, ведь, или, для, разве и т.д.) и этимологические операторы (связки, суффиксы, падежные формы и пр.) ничего не отображают и не несут никакой предметной нагрузки совершенно аналогично тому, как в алгебре знаки "плюс", "минус", "радикал" и т.п. Но, может быть, на заре человеческого разума именно эти операторы—слова и мысли—явились величайшим открытием, во всяком случае безмерно более значительным, нежели создание слов-номинаторов, почему-то и до сих пор являющихся единственными представителями речи в словниках, с которыми оперируют адепты второй сигнальной системы.

Обрисованный выше недосмотр оказался жестоко отомщенным. В разработке принципов и устройств машинного перевода их авторам пришлось разрешать возникавшие задачи и трудности с первых же шагов почти на пустом месте, и теория второй сигнальной системы, имеющая за собой уже более 30 лет существования и разработки, так и не смогла прийти им на помощь. Не может быть сомнения в том, что верная действительности, подлинно физиологическая теория речи должна была бы, напротив, явиться основным фундаментом для создания и программирования машин-переводчиков.

Если не приходится сомневаться в том, что попытки физиологической интерпретации функций восприятия и речи как существенно-материальных мозговых процессов (попытки, облегченные при этом терпимостью к мозаичизму, подменяющему собой действительный синтез) были в течение всего классического периода прогрессивными, то к нашему времени необходим и неизбежен их критический пересмотр. Для нас уже очевидна методологическая порочность мозаичизма во всех его проявлениях и формах, а напор новых фактов и материалов вынуждает сейчас рассматривать обрисованный круг былых представлений и гипотез о структуре мозговых процессов как сыгравший уже свою роль первого приближения в такой же мере, как и принцип рефлекторной дуги. Более подробный анализ мозаичизма и разбор современных представлений о принципах мозгового проецирования дан мной в другой работе[1].

Теперь своевременно будет обратиться к краткому обзору новых линий в развитии физиологии.

Физиология человека в условиях трудовой деятельности успела испытать

---

[1] См. очерк 11-й.

важные изменения в прямой связи с эволюцией самих производственных форм. По мере безостановочного снижения удельного веса грубо физического труда прикладная физиология, начав с энергетики труда, биомеханики, охраны и гигиены физического труда и т.п., стала интенсивно переключаться на задачи интеллектуализированного труда в комплексе человека и машины, задачи рационализации управления и связи, распределения функций и т.д. — именно те задачи, для разработки которых столь ценным оказалось привлечение на помощь методов и всего круга понятий кибернетики. Важнейшим разделом современной прикладной психофизиологии, бесспорно, является также изучение труда в условиях, требующих от человека наивысшего напряжения его внимания, находчивости, воли и т.д. (космонавтика, скоростное летание, верхолазные, кессонные, саперные работы и др.).

В области теоретической физиологии сейчас могут быть названы и заслуживают рассмотрения две возникшие в самое последнее время ветви. Одна из них — физиология регуляций — была ровесницей и в известной мере родоначальницей кибернетики; вторая — физиология активности — возникает и оформляется на наших глазах. Обзор этих ветвей целесообразно начать с проблематики активности.

Чем более уяснялся принцип кольцевой регуляции жизненных процессов, тем в большей мере обнаруживалась и неотрывно связанная с ним активность. Не говоря уже о проявлениях и формах активности в самом прямом смысле — о двигательных функциях, активная форма и структура всех без изъятия процессов рецепции и центральной переработки информации находятся сейчас вне сомнений. Наше время подтвердило полностью тезис И.М. Сеченова, что "мы слушаем, а не слышим, смотрим, а не только видим". Все главные виды наших периферических рецепторов оснащены, как уже указано, эфферентной иннервацией, на долю которой приходятся как функции оптимальной настройки (в очень широком смысле), так и бесчисленные проявления поиска, наведения, прослеживания, гаптики и т.д. Сюда же относятся все виды и проявления "проверки через практику" как конкретных рецепций, так и всей наладки органов чувств, перекрестная проверка и синтезирование показаний разных рецепторов в порядке организации сенсорных синтезов. Наконец, активны сами процессы отбора необходимых минимумов информации с отсевом излишних или избыточных "шумов".

Может быть, наиболее ярко выявилось глубокое значение активных форм функционирования в области центральных мозговых процессов, связанных с построением в мозгу упорядоченной и динамичной модели внешнего мира. В то время как воззрения клеточного центризма были неотделимы от представления о пассивном характере приема и запечатления поступающей в мозг сенсорной информации предназначенными для этого изначально порожними клетками, современная психофизиологическая мысль склоняется к пониманию познавательного процесса как активного моделирования, принципиально отличного от механистического соотнесения "элемент к элементу". Активными являются и выбор принципа упорядочения воспринимаемых множеств, и внутренняя классификация выделяемых подмножеств, и управление гаптикой в самом широком смысле этого понятия, т.е. теми процессами активной рецепции, о которых было сказано выше.

Но корни принципа активности живых организмов уходят гораздо глубже, придавая ему черты важнейшего общебиологического фактора. Уместно будет начать с двигательных функций.

Двигательные отправления — это основная группа процессов, где организм не только и не просто взаимодействует с окружающим миром, но и *активно воздействует* на него, изменяя его в нужном ему отношении. Из этого положения вытекает следующее.

Если проанализировать, на чем базируется формирование двигательных действий, то окажется, что каждый значимый акт представляет собой решение (или попытку решения) определенной задачи действия. Но задача действия, иными словами, результат, которого организм стремится достигнуть, есть нечто такое, что должно стать, но чего еще нет. Таким образом, задача действия есть закодированное так или иначе в мозгу отображение или модель потребного будущего. Очевидно, жизненно полезное или значимое действие не может быть ни запрограммировано, ни осуществлено, если мозг не создал для этого направляющей предпосылки в виде названной сейчас *модели потребного будущего.*

Судя по всему, мы имеем перед собой два связанных процесса. Один из них есть *вероятностное прогнозирование* по воспринимаемой текущей ситуации, своего рода *экстраполяция* на некоторый отрезок времени вперед. Фактические материалы и наблюдения, указывающие на такие процессы, уже накапливаются нейрофизиологами и клиницистами[1].

Наряду же с этой вероятностной экстраполяцией хода окружающих событий (каким он был бы при условии "невмешательства") совершается процесс *программирования* действия, долженствующего привести к реализации потребного будущего, о модели которого было сказано выше. Такое программирование простого или цепного действия выглядит уже как своего рода *интерполяция* между наличной ситуацией и тем, какой она должна стать в интересах данного индивида. Не буду задерживаться здесь на том, что и программирование, и осуществление действия совершаются обычно в условиях "жизненного цейтнота" (т.е. внутреннего конфликта между срочностью и точностью прогностики), и на том вполне очевидном обстоятельстве, что фактическое осуществление действия обязательно протекает как борьба или активное преодоление изменчивых внешних препятствий, каковы бы они ни были (неподвластные внешние силы сопротивления, противодействие противника, неожиданности и т.п.).

В этой связи заслуживает внимания то, что признание реальности кодированной в мозгу модели или экстраполята вероятного будущего и отображения в мозгу задач действия как формул потребного будущего создает возможность строго материалистической трактовки таких понятий, как целенаправленность, целесообразность и т.п.

Действительно, в предшествующем периоде развития научной физиологии такие установленные к нашему времени факты, как кодированные отображения информационного материала, первичные или рекомбинированные мозгом, были

[1] Группа так называемых ориентировочных реакций (конечно, не рефлексов!) представляет собой класс реакций на расхождение или рассогласование фактической рецепции с текущим вероятностным прогнозом и активной оценки значимости неожидавшегося сигнала.

совершенно неизвестны. Поэтому большинство таких понятий, как отвечающая потребностям организма задача или цель действия, т.е. код программы, направленный к оптимизации тех или иных условий существования организма и т.п., считалось неотъемлемой принадлежностью психологии, высокоразвитого сознания, обладающего возможностью формулирования для себя очередных задач и целей действия. Материалистическая платформа стояла, таким образом, перед альтернативой: либо допустить наличие психики и сознания у дождевого червя или дерева (это, разумеется, отвергалось как абсурд), либо считать, что ни одно из понятий обсуждаемой категории вообще неприложимо к преобладающему множеству организмов. Свободно чувствовал себя в этой области только идеалистический витализм, ничем не обоснованные гипотезы которого позволяли идти сколько угодно далеко в направлении финализма.

Именно обнаружение возможности построения и комбинирования организмом материальных кодов, отображающих все бесчисленные формы активности и экстраполяции предстоящего, начиная с тропизмов и кончая наиболее сложными формами направленного воздействия на окружение, позволяет нам теперь говорить о целенаправленности, целеустремленности и т.д. любого организма, начиная, может быть, уже с протистов, нимало не рискуя соскользнуть к финализму. Накапливаемый сейчас фактический материал из области сравнительной физиологии говорит о таком не предполагавшемся прежде разнообразии материальных субстратов регулирующих кодов и самих форм и принципов кодирования, в котором осознаваемые и вербализованные психические коды человеческого мозга занимают лишь место одной из частных, хотя и наиболее высоко развитых форм.

К разбираемому здесь в самых критических чертах вопросу о моделировании будущего и программировании действия, направленного к оптимизации этого будущего, уместно будет присоединить два замечания.

Стоя на позициях монополии рефлекторной дуги и ограничивая круг своего внимания строго реактивными процессами, физиология классического периода могла путем очень небольшой схематизации рассматривать эффекторные процессы организма как строго (и в большинстве случаев однозначно) детерминированные сигналами, прибывающими по афферентной полудуге. Сейчас, когда факты вынуждают нас рассматривать все проявления взаимодействия организма с миром, а тем более активного воздействия на него, как циклические процессы, организованные по принципу рефлекторного кольца, оценка имеющихся здесь соотношений меняется по самому существу. В отличие от разомкнутой дуги кольцевой процесс одинаково легко может быть начат с любого пункта кольца. Это объединяет в один общий класс реактивные в старом смысле (т.е. начинающиеся с афферентного полукольца) и так называемые спонтанные (т.е. начинающиеся с эффекторного полукольца) процессы взаимодействия.

Как уже упомянуто, в ряде отношений именно последний подкласс включает в себя наиболее жизненно важные проявления активности. Существенно то, что во всех подобных случаях организм не просто реагирует на ситуацию или сигнально значимый элемент, а *сталкивается с ситуацией,* динамически переменчивой, а поэтому ставящей его перед необходимостью вероятностного прогноза, а затем выбора.

Еще точнее будет сказать, что реакцией организма и его верховных

управляющих систем на ситуацию является не действие, а *принятие решения* о действии. Глубокая разница между тем и другим все яснее вырисовывается в современной физиологии активности.

Позволяя себе метафору, можно сказать, что организм все время ведет игру с окружающей его природой — игру, правила которой не определены, а ходы, "задуманные" противником, не известны. Эта особенность реально имеющихся отношений существенно отличает живой организм от реактивной машины любой степени точности и сложности. В дальнейшем мы будем отмечать, что реактивные механизмы играют немаловажную роль как технические компоненты приспособительной регуляции действий, но никогда — как прямые определители поведения.

Может быть, именно по этой причине нетрудно построить реактивную модель, способную осуществлять и формировать как безусловные, так и условные рефлексы (например, модели Walter и т.д.). Но создание модели, осуществляющей (или улучшающей) выбор оптимального поведения в условиях чисто вероятностной информации о "ходах противника", представляет трудности, которые кибернетика едва начала преодолевать.

Обрисованные сейчас новые представления о принципах активного поведения перекликаются, с одной стороны, с данными о физиологических механизмах автоматизации и деавтоматизации двигательных актов[1], с другой — с новыми математическими моделями иерархических координационных отношений, предложенными И.Н. Гельфандом, В.С. Гурфинкелем и М.Л. Цетлиным[2]. Есть много оснований считать, что вышележащий управляющий прибор центральной нервной системы не командует детально всем процессом движения данного сегмента периферического двигательного аппарата, а лишь определяет ту "матрицу" управления и корригирования, по которой подчиненный ему "центр" работает уже со значительной долей самостоятельности.

При этой ситуации, принципы которой хорошо известны из общей теории автоматического регулирования, на долю вышележащего "центра" приходится решение таких задач, как назначение определенного режима в самом широком смысле этого термина и контроль, переключение и адаптирование его к определяющим чертам ситуации и решаемой задачи. В аварийных случаях, когда низовой сегментарный "центр" подает в восходящую афферентную линию своего рода аларм-сигнал о непосильности для него справиться с создавшимся положением своими средствами в рамках доступных ему матричных вариантов, возглавляющий аппарат существенно перепрограммирует всю стратегию совершаемого действия.

По давно установленному общему правилу, от движений с многоуровневой иерархией управления и корригирования в поле сознания попадают только афферентные сигналы и вызываемые ими коррекционные команды самого верхнего, "ведущего" уровня данного движения. Постепенная передача коорди-

---

[1] *Бернштейн Н.А.* О построении движений. М.; Медгиз, 1947. С. 183; Очередные проблемы физиологии активности // Пробл. кибернетики. 1961. Вып. 6. С. 101.

[2] *Гельфанд И.Н., Гурфинкель В.С., Цетлин М.Л.* О тактиках управления сложными системами в связи с физиологией // Биологические аспекты кибернетики. М., 1962. С. 66; *Варшавский В.И., Воронцова И.П., Цетлин М.Л.* Обучение стохастических автоматов // Там же. С. 192.

национных коррекций технического значения на управление нижележащих, подчиненных координационных уровней и соответствующих сенсорных синтезов, сопровождаемая уходом этих коррекций из поля сознания, есть давно и хорошо известное явление автоматизации.

И это явление, и противоположное ему явление деавтоматизации в результате тех или иных дезорганизующих внешних или внутренних причин, оба до сих пор знакомые физиологам только по их описанию, находят теперь для себя модель в форме обрисованной выше иерархии из низового прибора, обладающего значительной автономностью в ведении "игры", и вышестоящего командного поста, руководящего им. С такой моделью, естественно, согласуется и то, что кольцевые процессы низового матричного управления так и не достигают высокостоящих уровней осознания именно потому, что им предоставлена большая степень самостоятельности. Этим низовым приборам, очевидно, доступно и принятие срочных тактических решений в ситуациях, не оставляющих времени на "запрос" верховных центров по соответствующему межуровневому координационному кольцу.

Ценность и прогрессивность замысла обсуждаемой модели не в догадке, что мерилом и "штрафом" для активности низового устройства является именно притекающая к нему афферентация (что для физиолога по меньшей мере спорно), а в формулировке самой модели, хорошо доступной для опытной проверки и существенно приближающей нас к уяснению координационных механизмов активного двигательного поведения организма.

Второе замечание, которое уместно здесь сделать, относится к вопросу о чисто физиологических, объективных проявлениях того "моделирования будущего", которое все более выявляется как необходимая предпосылка целенаправленной активности. Нужно сказать, что значительное количество наблюдений, относящихся еще к классическому периоду физиологии и принадлежащих, как тогда казалось, к очень разнородным областям явлений, в настоящее время начинает складываться в единую стройную систему центральных управляющих процессов. Прежде всего в нее входят настроечные процессы возбудимости и синаптической проводимости, наблюдавшиеся еще Sherrington как центрально-возбудительные и центрально-тормозные спинальные состояния, которые ставились им в несомненную связь с реципрокной регуляцией мышц-антагонистов.

Принимая часть за целое, Lapicque видел в явлениях центрально регулируемого синхронизма и гетерохронизма нервно-мышечных пластинок своего рода предваряющий "перевод стрелок" для правильного избирательного заадресования эффекторных импульсов к мышцам.

А.А. Ухтомский и его продолжатели усматривали аналогичную установочно-регуляционную роль за нервными ритмами, их усвоением и настройкой. Наконец, в обширном круге явлений нервно-мышечного тонуса нельзя было не заметить проявлений своего рода предварительной, *опережающей настройки* мускулатуры.

С другой стороны, усовершенствование техники электромио- и электронейрографии все более расширяет круг экспериментов, вскрывающих перед нами нервно-мышечную динамику так называемой установки, которая снова есть не что иное, как усмотренные в новом аспекте и посредством иной техники все те же центрально управляемые процессы *преднастройки* нервно-мышечной

периферии. Все указывает на то, что в каждом двигательном акте, протекающем в форме непрерывного кольцевого процесса, афферентная информация об этом акте мобилизует в то же время центральные настроечные системы, функционирование которых как бы опережает фактическое выполнение каждой фазы движения на какой-то отрезок времени вперед.

* * *

В настоящее время биология пришла к понятиям организма, во многих отношениях глубоко отличным от формулировок классического периода, трактовавших организм как реактивно уравновешивающуюся или саморегулирующуюся систему. Организм теперь рассматривается как организация, характеризуемая следующими двумя главными, определяющими свойствами.

Во-первых, это организация, сохраняющая свою системную тождественность сама с собой, несмотря на непрерывный поток как энергии, так и вещества субстрата, проходящих через нее. Несмотря на то, что ни один индивидуальный атом в организме не задерживается в составе его клеток дольше сравнительно краткого времени (за малыми исключениями, типа, например, костных кальцитов), организм остается сегодня тем же, чем был вчера, и его жизнедеятельность сегодня обусловливается всей его предшествующей жизнью.

Во-вторых, при всем этом организм на всех ступенях и этапах своего существования непрерывно направленно изменяется. Эта направленность онтогенетической эволюции неоспоримо доказывается хотя бы тем, что тысяча представителей одного животного или растительного вида развивается в особей, одинаковых по всем своим основным или определяющим признакам, несмотря на иногда весьма резкую неодинаковость внешних условий жизни у разных индивидов. Что касается эмбриогенеза, то сегодня уже известны и носители наследственных признаков, и их химическая структура, и кодовый алфавит, при посредстве которых организм, уже начиная со стадии оплодотворенного яйца, обладает закодированной моделью будущего своего развития и оформления и закодированной же программой последовательных ступеней этого развития[1].

Отмеченная выше тождественность результатов морфогенетического развития на фоне изменчивых условий говорит о том, что организм активно преодолевает возможные и неизбежные внешние препятствия на пути программы своего морфогенеза. Экспериментальные факты повреждений и частичных ампутаций (например, почек, конечностей) в эмбриогенезе — ампутаций, не мешающих этим органам все-таки развиться в полноценную конечность, факты анатомических и даже функциональных регенераций, клинический материал — все эти данные говорят о том, что организм в целом и, весьма возможно, каждая его клетка активно борются за свое сформирование, развитие и размножение. Процесс жизни есть не "уравновешивание с окружающей средой", как понимали

[1] Совершенно универсальной определяющей чертой этого второго свойства организмов является то, что на каждом этапе и в каждый момент совершающегося развития и связанных с ним перестроечных скачков организм сохраняет во всей потребной ему мере жизне- и дееспособность, чего не может еще дать ни одна модель или машина.

мыслители периода классического механицизма[1], а преодолевание этой среды, направленное не на сохранение статуса или гомеостаза, а на движение в направлении родовой программы развития и самообеспечения.

Таким образом, то, что в частном случае двигательных функций животных организмов выглядит как моделирование потребного будущего в форме задачи действия и как реализация интерполированной программы этого действия в порядке преодолевания внешних препятствий и активной битвы за результат, оказывается проявлением общего, глубоко проникающего всю биологию *принципа активности.* Этот принцип проявляет себя как в процессах роста и развития животных и растений, так и в их борьбе за реализацию всего, что им потребно.

Здесь возникает один чрезвычайно интересный вопрос, объемлющий, по-видимому, всю область биологии. Он находится в тесной связи как с теоретическими принципами биологического моделирования, так и с описанными выше фактами направленной эволюции индивида.

Начну с ряда параллелей между внешне чрезвычайно разнородными группами процессов, чтобы сформулировать, в чем состоит их общность.

На дубе или клене имеется несколько тысяч листьев. Среди них заведомо не найдется и двух взаимоконгруэнтных: всевозможные метрические признаки их дают широкие вариационные ряды. И тем не менее мы можем сказать, что принадлежность каждого листа к дубу или клену не вызывает никаких сомнений по каким-то признакам, которые волей-неволей нужно назвать существенными.

Человек совершает повторные навыковые движения. Он, например, может исписать десятки страниц, сто раз поставить свою подпись, писать пером на бумаге или крупно мелом на вертикальной доске, писать (как показали опыты) с помощью ног или рта, и при этом мы не найдем и пары конгруэнтных начертаний. А между тем во всех этих случаях сохраняется все время индивидуальный почерк. Человеку беспрепятственно выдают деньги из сберкассы по его подписи, хотя она наверняка не конгруэнтна ни с кассовым образчиком, ни со своими повторениями. Хроноциклограммы всевозможных циклических навыковых движений подтверждают то же в отношении траекторий отдельных циклов. Наше интуитивное восприятие, не подкрепляемое точной формулировкой, создало такие аналогичные почерку понятия, как походка, туше (на фортепиано), тембр голоса, выговор или акцент речи и т.п.

Ко всем этим случаям применимо то же разграничение: существенное сходство (т.е. равенство) по одной части имеющихся признаков при отсутствии конгруэнтности и размещаемость по другой, обычно метрической, части признаков в вариационные ряды. Сюда же принадлежит узнавание конфигураций, прежде всего букв, во всех размерах, шрифтах и т.д. (любопытно, что одинаково легко — белых на черном и черных на белом фоне), узнавание человека в лицо при шести степенях свободы проективных изменений его изображения на сетчатке, узнавание в данном экземпляре животного представителя того или иного вида или класса и т.д. Несколько последних примеров относится к тому, что психологи давно обозначили термином "обобщение". Но этим еще

[1] Такое уравновешивание обрекало бы каждую особь на полную зависимость от среды и ее изменений, и о программном морфогенезе с удержанием стойких признаков вида нельзя было бы и думать.

не объяснены ни механизмы этого процесса (относящегося, несомненно, к категории процессов мозгового моделирования), ни, главное, те принципы, которыми руководствуется мозг при разбивке признаков объекта по обеим контрастирующим группам.

Представляются очень перспективными использование и дальнейшая разработка математической идеи, выдвинутой И.М. Гельфандом и М.Л. Цетлиным и заключающейся в приложении к разбираемым здесь вопросам класса функций большого количества переменных, обозначаемых авторами как "хорошо организованные функции"[1]. Функция хорошо организована, если, во-первых, можно разгруппировать ее аргументы на "существенные" и "несущественные" переменные и если, во-вторых, все аргументы стойко сохраняют свою принадлежность к тому или другому подклассу. Авторы не дают строгого определения обоих классов, ограничиваясь выразительной характеристикой: несущественные переменные могут обусловливать резкие изменения и скачки функции, крутые градиенты значений и т.д. В то же время они, оправдывая данное им название, не оказывают определяющего действия на протекание функции в целом и на больших интервалах, на расположение экстремумов и т.д.

Влияние существенных переменных на небольших интервалах может в значительной степени маскироваться вмешательством сильно вариативного эффекта несущественных переменных, но в итоговом результате форма и протекание функции определяются прежде всего существенными переменными. По-видимому, принадлежность аргументов к тому или другому подклассу определяется не столько тем, какой конкретный физико-химический или иной процесс лежит в основе каждого из них, сколько самой формой функциональной связи с описываемой функцией, в которой находится с нею данный аргумент.

Чрезвычайно заманчиво обратиться к описанному классу функций, представив каждую сторону развития и жизнедеятельности живых организмов посредством такой функции многих переменных, где тот и другой их подкласс прямо накладываются на поведение соответственно существенных и несущественных признаков, как они были подразделены выше. Тогда, например, применительно к морфогенезу того или иного листа, цветка и т.п. можно будет сказать, что определяющие видовые, явно закодированные в хромосомах черты реализуются как продукт существенных (в смысле Гельфанда — Цетлина) переменных, а метрические признаки, дающие каждый вариационные ряды, — как результат влияния несущественных переменных. То же было бы уместно по отношению к координации движений, например к циклическим навыковым актам типа письма, о разгруппировке характеристик которых уже говорилось выше. То, что совершенно аналогичная организация определяющих переменных имеет место в актах восприятия, прежде всего в восприятии формы, а далее и во всевозможных актах обобщения, указывает на то, что и мозговому активному моделированию в процессах восприятия и отражения мира свойственна опять-таки природа этих замечательных функций.

Уже первые попытки приложения этих функций к изображению механизмов

---

[1] *Гельфанд И.М., Цетлин М.Л.* О некоторых способах управления сложными системами // Успехи мат. наук. 1962. Т. 17, вып. 1.

жизнедеятельности позволяют прибавить важные и перспективные черты к их имеющейся характеристике. Выше уже отмечалось, как по-разному относится организм к воздействию на него окружающей среды по линиям его существенных и несущественных переменных. По линии последних он реактивен и, так сказать, "уступчиво" приспособителен: один лист дерева получает больше питания, чем другой, и вырастает крупнее; он находится в лучших условиях освещения, в нем вырабатывается более высокая концентрация хлорофилла и т.п.

Но организм не уступает без применения к нему очень глубокого насилия каких-либо *существенных* свойств структуры и формы (вроде тех, которые, например, определяют диаграмму цветка). Не отступает он и от отрицательного геотропизма, т.е. от борьбы при всех условиях за вертикальное направление ствола или стебля. Таким образом, можно сказать, что организм реактивен по отношению к своим несущественным переменным, но в высокой степени нереактивен или *активен* по отношению к существенным.

Совершенно ту же картину дает структурный анализ двигательных актов и их координации. Как показали в свое время наши исследования, координационное управление каждым целостным смысловым двигательным актом строится, как уже упоминалось выше, по типу иерархической многоярусной системы колец управления и корригирования. Необходимость такой многоэтажности вызывается как весьма большим количеством степеней свободы у наших многозвенных органов движения, так и огромным числом мышечных единиц, активно участвующих в обеспечении позы и выполнении требуемого телодвижения.

К этому нужно еще добавить привходящие факты упругой растяжимости мышц и сложной реактивной динамики органов движения и затем, конечно, всю совокупность тех неподвластных, а поэтому и непредусмотримых внешних сил сопротивления, целесообразное преодоление которых и составляет самую сущность огромного большинства наших произвольных двигательных актов. В процессе координационного управления движением многочисленные виды и качества кольцевых коррекций распределяются между уровневыми системами мозга, с одной стороны, сообразно составам и качествам присущих им сенсорных синтезов, с другой — явно по смысловому удельному весу и значимости тех или других коррекций для полноценной реализации программы движения.

Строгая стандартность формы и метрики циклических навыковых движений никогда не реализуется сама собой и никогда не бывает самоцелью[1]. Ее приходится специально вырабатывать, и мозг идет на это только в тех случаях или в тех деталях или звеньях двигательного акта, где такая стандартность существенно необходима. Отсюда и получается та метрическая вариативность движений, о которой было уже сказано выше. Но с обсуждаемой здесь точки зрения обращает на себя внимание то, что "низовые" коррекции, т.е. коррекции чисто технического характера и второстепенного смыслового значения: 1) наблюдаются в тех деталях и сторонах движения, где имеет место наибольшая вариативность, 2) носят ясно выраженный реактивный характер.

Можно сказать, что аппарат управления движениями проявляет две различные

---

[1] См.: *Бернштейн Н.А.* О построении движений. Очередные проблемы физиологии активности // Пробл. кибернетики. 1961. Вып. 6. С. 101—160.

координационные тактики: по отношению к второстепенным и техническим рассогласованиям и помехам он действует реактивно-приспособительно, не боясь вариативности, по отношению же к программно существенным сторонам управления бьется за требуемый результат во что бы то ни стало, активно преодолевая препятствия и, если нужно, перепрограммируясь на ходу.

Другого назревающего в настоящее время вопроса, также тесно связанного с областью "хорошо организованных" функций Гельфанда — Цетлина, коснемся здесь лишь кратко. Это вопрос о взаимоотношениях биологических систем с понятием или классом дискретного числа. Те признаки, аргументы, коррекционные функции и т.д., которые принадлежат к разряду "несущественных", явно континуальны и образуют соответствующие этому вариационные ряды. А как обстоит дело с существенными переменными? В частности, допустимо ли поставить по отношению к наследственно передаваемым, закодированным в хромосомах чертам вопрос: до каких пределов "умеет" обсуждаемый аппарат считать?

Этот вопрос звучит в настоящее время в самых разнообразных работах. Судя, например, по анатомическим и сравнительно-анатомическим данным, такой уверенный "счет" продолжается примерно до двух в шестой степени (число зубов, позвонков, цитоархитектонических полей мозга, элементов боковой линии рыбы и т.д.). Безусловно немыслимо, чтобы в генном аппарате было закодировано, например, число волос на голове или число клеток в коре головного мозга.

Принципиально наибольший интерес представляют, несомненно, пограничные области числового ряда. Цито- и миелоархитектонические поля коры мозга человека "исчислены" и стандартны. Но до каких пределов простирается эта исчисленность и с какого момента начинается рандомизация числа клеток и плана их синаптических взаимосвязей? Исчислены или рандомны количества гломерул в почке, лангергансовых островков, пачиниевых телец, мышечных единиц в той или другой мышце? Как ведет себя аппарат наследственной передачи, когда дело доходит до чисел порядка сотен, т.е. где граница его информационной емкости?

С точки зрения обсуждаемой здесь темы важно следующее. Информоемкость генного аппарата, разумеется, не наложена на него как-либо извне, а выражает собой эволюционно определившуюся необходимость данного вида животного, растения, клетки и т.д. Поэтому анализ названных пограничных отношений в области перехода от необходимого к случайному есть в то же время анализ того распределения между существенными и несущественными аргументами, который соответствует эволюционно определившейся потребности организма. В то же время это анализ того, где и как проводится организмом граница между активными и реактивными процессами, числом и множественностью (счетной или континуальной), наконец, между областями приложения теории хорошо организованных функций и теории случайных процессов.

В заключение нужно остановиться еще на одном принципиально важном вопросе.

С самого зарождения научной кибернетики, как только выяснилась близость между назревшими ключевыми проблемами физиологии и теми задачами, которые обусловили выделение кибернетики в самостоятельную науку, началось

взаимное оплодотворение обеих наук в отношении фактических данных и теоретических формулировок и обобщений. Весь период, протекший от публикации первого труда Wiener до наших дней, пронизан поиском и использованием аналогий между живыми и искусственными системами — аналогий, помогавших физиологам в осмыслении системных взаимных отношений в организме, а техникам — дававших в руки новые и ценные идеи по построению автоматов.

Независимо от того, окончился или нет этот "медовый месяц" выявления и практического применения аналогий и сходств, в литературе самого последнего времени начинают все чаще проскальзывать и вопросы противоположного направления: существует ли все-таки принципиальная разница между живыми и неживыми системами и если существует, то где пролегает граница между теми и другими?

Разумеется, речь идет не о тривиальных различиях, вроде различий стройматериала или количественных различиях, делающих для современной техники немыслимым подражание 15 млрд клеток головного мозга. В то же время неоспоримо, что искомое различие должно при всех условиях формулироваться на основе строгого материалистического единства законов, которым в одинаковой степени подчинена как живая, так и неживая материя.

Становится чрезвычайно правдоподобным представление, что искомый водораздел или прямо заключается в общебиологическом принципе активности, или, во всяком случае, включает этот принцип как важнейшую составную часть. Это суждение может подкрепляться тем, что как раз активные формы морфогенеза, развития индивидуального поведения, прогностики будущего и т.д. всего недоступнее для моделирования, хотя бы мысленного. Оно может подкрепляться также и той всеобщностью, с которой этот принцип направленной, преодолевающей активности проявляется во всех формах жизнедеятельности.

Однако, прежде чем решиться выдвинуть описанную концепцию биологической активности в качестве рабочей гипотезы, необходимо ответить, пусть даже пока в самых общих чертах, на вопрос, допустимо ли говорить о какой-либо глубокой спефицике процессов жизни, не сходя со строго материалистических позиций и не соскальзывая при этом на рельсы одной из форм витализма, хотя бы и замаскированного.

Начиная с XVIII в., когда впервые твердо определил свои научные позиции воинствующий механистический материализм, перед естествознанием встала альтернатива, казавшаяся в ту пору (и в течение долгого времени позже) неизбежной. С одной стороны, контраст между проявлениями жизнедеятельности и теми процессами, которые тогда были известны в неживой природе, был настолько разителен, что было необходимо искать для него объяснений и обоснований. С другой же стороны, инвентарь знаний о глубинных физико-химических процессах, а тем более биофизических и биохимических закономерностях на молекулярном уровне был еще крайне скудным. Поэтому получалось так: те, кто отходил в лагерь идеализма и легко допускал идеи о всякого рода нематериальных факторах и сущностях, не находя в багаже физико-химических знаний ничего пригодного для объяснений специфики жизни, выдвигали для этого объяснения нематериальную жизненную силу, что их вполне устраивало. Последовательным же материалистам не оставалось ничего

иного, как вообще отвергнуть всякие поиски жизненной специфики, поскольку физика и химия того периода ничего не могли подсказать.

Это традиционное представление о неправомерности самой постановки вопроса относительно специфичности жизненных процессов в строго материальном плане и истолковании сохраняется и до нашего времени, когда выяснилось и скопилось огромное количество новых сведений и фактов. Между тем эти новые факты позволяют рассматривать многие процессы (в первую очередь на клеточном и молекулярном уровнях) так, как немыслимо было и думать в предшествующем столетии. Они же дают возможность поставить на очередь вопрос о пересмотре традиционнго взгляда. Ни рамки настоящего сообщения,ни компетенция автора не позволяют предпринять сколько-нибудь подробное освещение вопроса, но следует хотя бы показать, о чем здесь может идти речь.

Прежде всего в прошлом имелись только самые зачаточные сведения о ферментных процессах. Сейчас выясняются все более широкие границы для этих процессов. Выясняются роль ферментов в направляемом синтезе высокомолекулярных соединений и редупликации этих соединений, гигантское разнообразие и своеобразие хемоавтотрофных микроорганизмов, при участии которых интенсивно осуществляются процессы, которые в лабораторных условиях потребовали бы огромных температур и давлений, и т.д.

В прошедшем столетии не было ничего известно о стохастических процессах (если не считать кинетической теории газов и растворов). По линии второго закона термодинамики были известны и изучены такие явления в области микромасштабов, как флюктуации (М. Смолуховский), броуновское движение (А. Эйнштейн) и т.п. Однако все еще нельзя было ничего сказать об антиэнтропических процессах в открытых системах, условиях их протекания и управляемости, в то время как сейчас каждый год прибавляет в этом направлении новые факты.

О биологических кодах и их роли в структурировании и самоорганизации было уже сказано выше. Мы не будем продолжать этого перечисления. Его целью было лишь показать, что к нашему времени накоплены обширные системы новых фактов. Среди них исследовательская мысль без всякой опасности впасть в идеализм, лишь твердо памятуя о диалектическом принципе перехода количества в новые качества, несомненно, найдет точки опоры для того, чтобы применить вновь узнанные закономерности биохимии, биофизики и новых ветвей математики к безоговорочно материалистическому описанию специфических проявлений жизни.

Значительно легче отпарировать возражение о том, что, ставя на место рефлекторной дуги (где реакция закономерно отвечает на стимул) замкнутое рефлекторное кольцо, которое может начать функционировать с любого пункта своей блок-схемы, мы — сторонники физиологии активности — отходим от детерминизма и вместе с тем от той ясной материалистической трактовки явлений, которая обеспечивается рефлекторной теорией и признанием за рефлексом роли основного строительного элемента жизни и поведения.

Как уже отмечалось выше, "рефлекс по схеме дуги" — лишь приближенно описанный процесс, который самим накоплением фактов о регуляции и координации должен был претерпеть замену его схемы более точной и верной схемой кольцевого, непрерывного процесса. Далее выяснилось, что все рецепторные

процессы протекают активно, начинаясь с отбора и поиска информации и сопровождаясь процессами настройки, прослеживания, гаптики и т.д. Соответственно этому и процесс образования и закрепления условной связи между афферентными сигналами пришлось рассматривать не как пассивное запечатление, требующее повторений для лучшего проторения связи, а как ряд активных процессов: 1) вычленения прививаемого условного стимула из всего афферентного потока извне; 2) установления мозгом животного апостериорной вероятности предъявляемого сочетания; 3) закрепления ассоциации в "долговременной памяти" мозга и т.д.

После всех этих неизбежных уточнений стало выясняться все более и более, что рефлекс, т.е. детерминированная кольцевая реакция, вызванная воздействием раздражителя, бесспорно, есть реально существующая и наблюдающаяся в разнообразнейших видах форма проявления жизнедеятельности. Но эта форма явно не единственная. Во всяком случае, она не оставляет возможности конструировать из рефлексов сложные формы активного поведения.

Конечно, форма поведения реактивного автомата более явственно детерминистична, чем поведение организма, все время вынуждаемого к срочному активному выбору в стохастических условиях. Но освобождение организма от роли реактивного автомата, существующего "на поводу" падающих на него раздражений, ни в какой мере не означает отхода от научного детерминизма в широком смысле в область непознаваемого, так же как переход от описания явления через однозначные функции к его описанию с помощью теории вероятностей не может означать ухода с позиций строгого естествознания.

Наука нашего времени накопила более чем достаточно фактов и знаний, чтобы безбоязненно приступить к созданию нового, углубленного представления вместо того первого приближения, которое оставили нам в наследство корифеи науки классического периода. Теперь необходимо, твердо и неукоснительно придерживаясь принципа единства мира и его законов, указать и изучить тот водораздел, который пока совершенно не переходим для технической или моделирующей мысли, но который в то же время совершенно четко отражает собой то, в чем заключается разница между живыми и искусственными системами. Можно предполагать, что обсуждаемые здесь черты и свойства физиологии активности смогут вылиться в дальнейшем в какую-то существенную сторону или часть искомой характеристики. Это, во всяком случае, облегчит путь технических изобретательских изысканий того, как приблизиться к преодолению водораздела между биологическими и техническими науками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В собранных здесь очерках обрисован один из тех путей, которые привели научную мысль текущего момента к нащупыванию и формулированию новых перспективных линий развития физиологии, а может быть, и всей биологии в целом. В переживаемый нами процесс бурно совершающегося перелома взглядов и концепций, затрагивающий во многих отношениях самые глубинные методологические проблемы и связанный с принципиальным пересмотром многого обветшавшего и отжившего, вносит свой неоспоримый вклад и физиология двигательной активности.

Не безболезненно протекал и протекает на наших глазах этот перелом во взглядах и перемещение центров тяжести научной значимости, свидетелями и участниками которых мы являемся. Новое воспринимается с трудом и в борьбе, как это всегда бывало в истории эволюции научных идей и концепций. Подобные переломы уже не раз переживались естествознанием, позволяя той или иной ветви его подняться на новую, более высокую ступень. Формы, которые они принимали при этом, бывали очень различными в зависимости от многих привходящих условий.

Можно образно сказать, что каждая теория проходит в своей эволюции через три возраста. В молодости теория объединяет и подытоживает факты, которые накопились к моменту ее рождения. Она создает логический порядок в хаосе этих фактов, как бы ферментирует его, подобно тому как это делают с пищевой массой ферменты пищеварительного аппарата, и этим способствует его усвояемости нашими органами мышления. Подобную молодость, по-видимому, в фазе самой ранней юности, переживает на наших глазах, например, теория элементарных частиц.

Затем наступает зрелость теории. Это возраст предвидений и предсказаний. Зрелая теория предусматривает факты, еще не открытые прямым наблюдением, выводя их как прямые логические следствия из основной моделирующей концепции и направляя этим ход экспериментальных исканий. В этой фазе зрелости теории экспериментатор, организуя постановку опыта, нередко знает, что он ищет, и добивается не столько обнаружения неизвестных фактов, сколько доказательного выявления фактов, уже предсказанных теорией. Так было, например, с Герцем, уверенно добивавшимся получения электромагнитных волн, или с П.Н. Лебедевым, столь же уверенно искавшим средства показать въявь существование светового давления. Оба исследователя с самого начала не сомневались в реальности тех явлений, которые они стремились доказать опытным путем.

Прожив более или менее долго, теория неизбежно начинает стареть. Пере-

жившая свой период расцвета и дряхлеющая теория может разрушиться и выйти из строя прежде всего в том случае, когда она вступит в непримиримое противоречие с потоком новых фактов и отношений, выявляющихся в экспериментах. Иногда причиной назревшей необходимости смены теории является постепенное накопление данных, не укладывающихся в ее рамки, иногда это бывает единственный факт или феномен, поражающий ее в самое сердце. Бывает и так, что науке приходится долго дожидаться момента, пока на поле битвы появится гениальный прозорливец, который сумеет найти и сформулировать свежую, мощную концепцию, убивающую прежние взгляды уже одним фактом своего неоспоримого преимущества перед ними.

Так было, например, с крушением беспринципной, сложной и ничего не объясняющей астрономической системы Птолемея (вместе с компромиссным вариантом ее, предложенным Тихо де Браге), которая не смогла выстоять против ясной и убедительной модели Коперника и Кеплера. То же двумя столетиями позже случилось с теорией флогистона, или теплорода: открытия, сделанные М.В. Ломоносовым и Лавуазье, а за ними открытие кислорода, приведшее к правильному истолкованию процессов горения, быстро и неоспоримо выявили всю абсурдность концепции флогистона с отрицательным весом. Наконец, такое же бесповоротное крушение испытали уже на рубеже текущего столетия концепции ньютоновских абсолютных пространства и времени, которые не смогли выдержать конкуренции ни с новыми опытными данными, ни, главное, с гениальными обобщениями Эйнштейна.

В других случаях смена естественнонаучных теорий совершается не столь революционно, как в приведенных выше примерах. В этой категории случаев замена старой теории происходит не потому, что вскрылась ее ошибочность или неправомерность. Приходящая на смену молодая концепция берет над ней верх либо потому, что ей оказывается под силу обобщить гораздо более широкий круг явлений, чем прежде, либо благодаря тому, что она оказывается обладающей гораздо большей эвристической силой. Ярким примером такой теории является теория электромагнитного поля, созданная Максвеллом на основе обобщения открытий Эрстеда и Фарадея. Появление этой теории — знаменитых максвелловых уравнений — позволило охватить единой формулировкой такие разделы физики, которые до этого трактовались как совершенно разные между собой области. Теория Максвелла смогла разом обозреть, как с птичьего полета, и учение о свете, и теорию лучистой теплоты, и электромагнитную индукцию и прямо привела к предсказанию волн, открытых Герцем и положенных А.С. Поповым в основу радиотехники.

Не менее выразительный пример сказанного дает создание кинетической теории газов и растворов, которая также ничего не опровергла и никого не уличила в ошибках, но открыла такие широкие пути к предсказанию и обнаружению новых закономерностей, которые и не мыслились до ее появления.

Тот перелом, который в наши дни переживает биология со всем кругом входящих в нее наук о живой природе, явственно принадлежит также к этой последней категории переосмысления прежних понятий. Самая выразительная черта этого переломного процесса — в непрерывно возрастающем на наших глазах богатстве обобщений, прямо наводящих исследователя на новые эксперименты и поиски. Наряду с этим тот же процесс рождает новые понятия,

термины, формулировки, становящиеся на службу науке в роли более совершенных, сильных и строгих орудий научного прогресса. Виднейшее место среди этих новых орудий занимает кибернетика.

Каждая наука перерастает стадию первоначального эмпиризма и становится наукой в точном смысле слова в тот момент, когда она оказывается в состоянии применить к каждому явлению в своей области два определяющих вопроса: 1) *как* происходит явление и 2) *почему* оно происходит. Первый вопрос побуждает к поискам сначала качественных описаний, а затем и количественных характеристик явлений. Второй вопрос требует постановки всех суждений об этих явлениях на почву строгой причинности и ведет к формулированию законов протекания и зависимости этих явлений, тоже вначале качественно описательных, а в дальнейшем облеченных в строгие формы математических моделей установленной причинной зависимости.

Для всех наук, достигших теоретической зрелости, характеристика изучаемых ими процессов оказалась целиком умещающейся в ответы на два вышеуказанных вопроса. Для наук о неживой природе эти два кардинальных вопроса, во всяком случае, оказались и необходимыми и достаточными. Биологические науки в лице своих самых сильных вождей и методологов точно так же стремились подчинить изучаемые ими явления тем же двум кардинальным вопросам. По линии вопроса "как", несмотря на всю сложность и трудность точных количественных описаний явлений жизни, неуклонно прогрессировали и техника наблюдений, и совершенство измерительных приборов. По линии причинности, заключающейся в вопросе "почему", трудности были еще намного более значительными, хотя и здесь непрерывно обогащался фонд формулировок, выявлявших причинные отношения между явлениями, правда, в большинстве случаев в качественной, описательной форме.

Но чем далее, тем отчетливее в науках биологического цикла стала проступать одна поразительная черта. При каждой попытке формулирования причинного закона явлений либо никак не удавалось перевести такой закон в математически строгую форму, либо нельзя было не почувствовать, что в нем не хватает чего-то весьма существенного, может быть, даже решающего. До недавнего времени эта упорная неподатливость к теоретизации и математическому моделированию не находила для себя объяснений. Ссылка на обилие привходящих переменных, на неповторимость экспериментов при строго соблюденных ceteris paribus, на сложность причинно-следственных отношений в живых системах и т.п. была явно не принципиальной, как и вообще всякие попытки не выходить за пределы категорий количества там, где необходимо признание и учет новых качеств. То, что по всем признакам казалось уже выявившимся законом (в физиологии, психологии и т.п.), оказывалось по большей части крайне бедным предсказательной силой и потому рано или поздно приводило с неизбежностью в теоретический тупик. Самый же грозный критерий годности концепции — ее проверка через практику — в очень высоком проценте случаев приводил к выводу, что с законом здесь что-то не в порядке.

Многочисленные наблюдения и факты во всех областях биологии уже давно указывали на неоспоримую целесообразность устройств и процессов, присущих живым организмам. Эта целесообразность прямо бросалась в глаза как резкое,

может быть, даже решающее отличие живых систем от каких бы то ни было объектов неживой природы. Неминуемо возникал вопрос: *для чего* существует то или иное приспособление в организме, к какой цели оно направлено, какую доступную наблюдению задачу оно предназначено решать. И все отчетливее стала откристаллизовываться мысль: а не потому ли и постигает биолога неудача или неудовлетворенность при попытке выяснения вставшей перед ним закономерности, что в применении к биологическим объектам к вопросам "как" и "почему", исчерпывающе достаточным в физике или химии, необходимо добавить еще третий, равноправный с ними вопрос "для чего"?

Как я попытался показать в последнем из очерков этой книги, только биологической кибернетике оказалось под силу отвести как фикцию то, что отпугивало механицистов прошлого века своей видимостью идеалистического финализма и телеологизма. Допустимо ли считать, что цель действия — нечто такое, что должно осуществиться только после этого действия в будущем времени, может являться причиной наступления этого действия? Причина позднее, чем ее следствие?! И только введенные биокибернетикой понятия кода и кодированной предвосхищающей модели будущего указали на безупречно материалистический выход из этого кажущегося тупика.

В некоторых случаях, как я попытался показать в другом месте[1], биологам удавалось путем поистине гениального хода мысли обосновывать и объяснять закономерности тех или иных жизненных явлений, не выходя за пределы вопросов "как" и "почему". Это смог, например, сделать Дарвин с помощью созданной им концепции "переживания приспособленнейших": построенная им на этой концепции стохастическая модель автоматически протекающего отбора носителей случайных наследуемых положительных мутаций действительно позволяла показать, не переступая границ строгого закона механической причинности, как совершаются возникновение и отбор целесообразных усовершенствований у организмов. Однако нельзя не заметить, что, во-первых, среди необозримого круга биологических проблем построения подобные упомянутой дарвиновой модели оказывались скорее нечастым исключением, нежели общим правилом, во-вторых, и в самой системе дарвинизма стали чем дальше, тем больше проступать и накапливаться "белые пятна" нерешенных вопросов, неясностей и прямых необъяснимостей.

Уточняя, нужно указать, что дарвиновский стохастический механизм переживания (survival) работает во всех случаях как универсальный контрольный или визирующий инструмент эволюционного процесса. В этом состоит и этим исчерпывается его роль. Чем бы в конечном счете ни обусловливались наследуемые и накапливаемые мутации, этот механизм автоматически выводит из игры все неконкурентоспособные формы, пропуская беспрепятственно в жизнь формы, доказавшие свою жизнестойкость.

Важно подчеркнуть, что дарвиновский survival никогда не является целью активного устремления организмов, представляя собой только итоговый результат последнего. Организм не борется за жизнь (для Дарвина его "struggle for existence", по-видимому, всегда оставалось только образным выражением стохасти-

[1] Предисловие к монографии К.С. Тринчера "Биология и информация" (М.: Наука, 1964).

ческого конкурентного процесса), и выживание нигде не служит задачей, разрешения которой он добивается. В связи с этим механизм survival не может обладать творческой силой для негэнтропического развития каких бы то ни было органических форм выше, разве лишь одноклеточных. В этом смысле он в своем роде так же бессилен, как демон Максвелла — для активного понижения энтропии в газовой смеси.

О какой же цели активности живых организмов можно говорить в таком случае, если такой целью не является выживание во что бы то ни стало? И правомерно ли вообще экстраполировать понятие цели за пределы психологии — единственной области, где оно формулируемо с полной отчетливостью? Думается, что по крайней мере частично можно уже придать этому понятию четкий биологический смысл, а на остающиеся вопросы ответить более или менее правдоподобной гипотезой.

Допустим для начала, что в структурах некоторого множества организмов заложена динамика устремления к очень широкому кругу направленных изменений у разных индивидов. Прежде всего автоматический отсев survival устранит всех индивидов — обладателей "летальных целей" (программ), ведущих к их гибели. Далее, тот же контрольный автоматизм будет поощрять те организмы, у которых имеется и работает ноцицептивный, штрафующий и предостерегающий аппарат. Этих двух условий уже достаточно для обеспечения и ограждения созидательного устремления организмов к любому целевому результату, в чем бы последний не заключался. С этого пункта можно пока идти дальше только гипотетически, но правдоподобнее других представляется следующая гипотеза.

Все наблюдения над становлением организма как в эмбрио- и онтогенезе, так и на филогенетической лестнице и все те факты, которые говорят об активной динамике борьбы организма за осуществление "существенных переменных" действия, обрисованных в нашем последнем очерке, показывают, что организм в развитии и действиях стремится к максимуму негэнтропии, еще совместимому для него с жизнеустойчивостью. Такая формулировка биологической "цели" имеет по крайней мере то достоинство, что не требует никакой психологизации и может быть целиком выведена из свойств соответственно высокоорганизованных органических молекул на какой-то ступени их прогрессивного усложнения. В этом смысле активность организма биофизически есть борьба за негэнтропию[1].

Уточняя для последующего изложения нашу терминологию, скажем, что цель, понимаемая как закодированная в мозгу модель потребного организму будущего, обусловливает процессы, которые следует объединить в понятии целеустремленности. Последняя включает в себя всю мотивацию борьбы организма за достижение цели и ведет к развитию и закреплению целесообразных механизмов ее реализации. А вся динамика целеустремленной

[1] Даваемая здесь формулировка представляется мне и более общей и более точной, чем, например, тезис о том, что целенаправленность действий биологического объекта определяется его *потребностями*. В самом деле, последнее понятие не приложимо ни к клеточному, ни тем более к молекулярному уровню, к которым безоговорочно приложимо понятие *негэнтропии*.

борьбы посредством целесообразных механизмов[1] есть комплекс, который правильнее всего объединить термином *активность*.

Активность — важнейшая черта всех живых систем, функционирующих на базисе трех вышеназванных кардинальных вопросов, — стала уясняться позже других, несмотря на то, что, по-видимому, именно она является самой главной и определяющей. Последнее утверждение подкрепляется и тем, что активность выступает как наиболее общая всеохватывающая характеристика живых организмов и систем, и еще более тем, что постановка понятия активности в качестве отправной точки ведет к наиболее далеко идущему и глубокому переосмыслению тех физиологических понятий, которые отживают и уходят в прошлое вместе со всей платформой старого механистического материализма.

Что в наибольшей мере характеризует собой активную целеустремленность организма? Организм все время находится в соприкосновении и взаимодействии с внешней и внутренней средой. Если его движение (в самом обобщенном смысле слова) имеет одинаковое направление с движением среды, то оно осуществляется гладко и бесконфликтно. Но если запрограммированное им движение к определившейся цели требует преодолевания сопротивления среды, организм со всей доступной ему щедростью отпускает на это преодолевание энергию в негэнтропической форме, пока он либо восторжествует над средой, либо погибнет в борьбе с ней. Среда, как все неживые совокупности, согласно второму принципу термодинамики, всегда движется в направлении возрастания энтропии; организм и в своем онтогенетическом формировании, и во всех проявлениях активности по ходу жизни движется негэнтропически, добиваясь и достигая понижения уровня энтропии в самом себе и оплачивая этот эффект ценой метаболического возрастания энтропии в своем окружении за счет окисления и разрушения веществ — участников энергетического метаболизма.

В этом пункте, по-видимому, еще проявляет себя характерное различие между живыми и неживыми (хотя бы и самоуправляющимися) системами. В искусственных системах с авторегуляцией на обратных связях сигналы о рассогласованиях и нарушениях программного режима управляют величиной, вводимой в систему энергии. Чем больше возрастает рассогласование, тем интенсивнее и щедрее совершается подача энергии для его преодоления. Налицо как будто явное сходство с тем, что было только что высказано о взаимоотношениях организма и среды. Но глубочайшая и принципиальная разница состоит в том, что "щедрость" отпуска относится в сегодняшних искусственных системах саморегуляции к количеству выдаваемой энергии, тогда как в активности живых организмов она же относится к отрицательной энтропии. Преобладающее большинство акций живого организма негэнтропично как по содержанию запрограммированной им активности, так и по реализации этого содержания.

[1] Отметим одну правильную мысль, высказанную уже в прошлом столетии: целесообразность того или иного устройства в организме еще отнюдь не предрешает его совершенства. Целесообразность подразумевает соответствие устройства разрешаемой им задаче лишь в меру реальных возможностей данного организма.

Принятие в качестве отправного пункта принципа биологической и физиологической активности со всем связанным с нею кругом идей и представлений позволяет выдвинуть против воззрений старой рефлекторной теории последний и, возможно, решающий аргумент.

Рефлекс по схеме дуги импонировал физиологам предшествующего периода более всего тем, как четко он увязывался с классическими понятиями причины и следствия. В самом деле, рефлекс (безусловный и условный) есть настоящая модель закона причинности в самой строгой форме. Раздражение, передаваемое по афферентной полудуге, — причина, реакция и ее путь от центров до исполнительного органа — ее детерминированное следствие. Здесь наука, по-видимому, снова сталкивалась с классом явлений, целиком укладывающихся в рамки вопросов "как" и "почему", и поэтому особенно ценимых учеными классического периода за создаваемую ими возможность обходить методологически опасные для механистического мышления пути.

Всмотримся, однако, несколько более пристально. Стимул есть бесспорная причина появления ответного *феномена* рефлекса, но говорит ли он что-нибудь *о генезе и значении* этого рефлекса? Чем обусловливается то, что на данную стимуляцию организм отвечает именно так, а не иначе? Если речь идет о врожденном, безусловном рефлексе, то ясно, что данная форма реакции выработалась по ходу эволюции постольку, поскольку она отвечала определенной потребности организмов данного вида, защитной или преодолевающей. Таким образом, здесь неминуемо всплывает вопрос "для чего", и попытка рефлекторной теории обойти этот вопрос с помощью механистической причинности оказывается призрачной. Еще выпуклее выявляется решающая необходимость привлечения к делу вопроса "для чего" в отношении рефлексов условных, индивидуально вырабатываемых. Если в лабораторной обстановке и удается (нередко ценой упорного труда) воспитать у животного ту или иную явно бесполезную для него форму реагирования, то в естественных условиях каждая прижизненно вырабатываемая им реакция создается всегда как прямой ответ на вопрос, какой потребности индивида она соответствует, *для чего* она ему нужна. Если вспомнить еще (см. 11-й очерк), в каком большом числе случаев раздражение, зачинающее рефлекс, снижается, по сути, до значения *пускового стимула,* включающего реакцию, но в очень малой мере заслуживающего того, чтобы быть признанным за ее смысловую причину, и как раз в действиях с наибольшей смысловой нагрузкой играющего наименьшую роль (часто вплоть до полной ненужности), то мы убедимся, что для правильного осмысления любого рефлекса или вида реакции привлечение к делу вопроса "для чего" не только необходимо и неизбежно, но по своей биологической важности выдвигает этот вопрос на первое место.

Жизнедеятельность каждого организма есть не уравновешивание его со средой и с падающим на него с ее стороны потоком стимулирующих воздействий (как думали И.П. Павлов и его последователи), а активное *преодоление среды,* определяемое уже обрисованной ранее *моделью потребного* ему *будущего.*

Мне остается еще остановиться в кратких чертах на тех стоящих на очереди задачах исследования, которые непосредственно связаны с изучением и математи-

ческим моделированием обеих основных категорий переменных в их участии и взаимодействии по управлению двигательными актами. Однако предварительно необходимо хотя бы бегло подытожить тот вред, который был принесен теории и практике упорным удерживанием позиций рефлекторной дуги в том периоде, когда они уже явно утратили свою былую погрессивность, все более становясь к нашему времени тормозом для плодотворного развития физиологической науки.

Рефлекторная теория после прославленных открытий, совершенных И.П. Павловым в начале нашего века и принесших ему заслуженное мировое признание, действительно подняла учение о высшей нервной деятельности на новую прогрессивную и вначале высоко эвристическую ступень. И, несмотря на то что теория условных рефлексов оказалась менее близкой к объективной физиологии головного мозга, чем это представлялось первоначально[1], и что в начальном периоде увлечения ей доводилось впадать и в серьезные методологические ошибки вроде рефлекса рабства, рефлекса свободы или испробованной и вскоре же отвергнутой "башни молчания", основывавшейся на идее арифметической вычитаемости раздражений (совершенно аналогичной с идеей суммируемости рефлексов в действия)[2], несмотря на эти уклоны, вполне естественные для живой, становящейся концепции, прогрессивность рефлекторной теории оставалась неоспоримой в течение многих лет, до того времени, когда ей пришлось испытать то неизбежное старение, о котором в общих чертах говорилось в начале этого заключения.

Эпигоны учения И.П. Павлова резко и непростительно исказили облик выдающегося ученого мирового масштаба, превратив его теорию в догмат. Принятием этого догмата, всегда являвшегося тормозом в истории мировой науки начиная с аристотелизма, и в особенности превращением его в боевой стяг войны административными методами с инакомыслящими неудачливые преемники и продолжатели И.П. Павлова нанесли двоякий тяжелый урон отечественной науке. С одной стороны, настоятельное удерживание отживших уже позиций

---

[1] Еще К. Гольдштейном в 20-х годах нашего столетия было справедливо отмечено, что по крайней мере до тех пор, пока процессы типа иррадиации, концентрации, корковой мозаики возбуждений и торможений и т.п. не будут подтверждены прямым (электрофизиологическим) наблюдением, они остаются не более объективными по своему уровню, чем любые понятия из области психологии или бихевиоризма. Время научило нас обращаться с идеей "черного ящика" более осторожно, не пытаясь преждевременно конкретизировать внутримозговую электрофизиологическую картину явлений по внешним наблюдаемым отношениям типа передаточных функций, запечатления и экфории энграмм, внешних проявлений механизмов сличения и санкционирования и т.п. Рецидивы попыток такой конкретизации, вроде модельных нервных сетей Клини или гипотетических нейронных схем Мак Каллоха и Питтса, уже никак не удовлетворяют современную теоретическую биокибернетику.

[2] "Башня молчания", на которую в начале этого века возлагались большие надежды в смысле создания посредством нее возможности предъявления подопытным животным "химически чистых" раздражителей, огражденных от вмешательства всякого рода "шумовых" и фоновых примесей, вскоре же разочаровала ее создателей, оказавшись сама по себе сильнейшим раздражителем для животного, попадавшего там в биологически совершенно незнакомую обстановку, резко настораживающую весь ориентировочный аппарат его. В наши дни аналоги этой башни — экспериментальные сурдокамеры сооружаются и применяются уже вполне сознательно, именно с целью выяснения выносливости человека к длительному пребыванию в условиях полного отключения внешней стимуляции.

отомстило за себя тем, что по всем линиям практическое приложение этих позиций к жизни завершилось неоспоримой неудачей — и в психиатрии, и в педагогике, и даже в языкознании (вторая сигнальная система и проблемы машинного перевода). С другой же стороны, этот образ действий принес с собой весь тот вред, который всегда сопровождал в науке переход от аргументации убеждением к аргументации силой. Это тривиально и не требует дальнейшей детализации. Sapienti sat!

В недавно опубликованной работе[1], делая попытку выявить те классы математических отношений, которые прежде всего намечаются для моделирования и анализа жизненных проявлений, я выделил среди них в первую очередь два важнейших класса: 1) класс отображений или образов и 2) класс функций разброса. Третий столь же важный класс, охватывающий собой функции управления и регуляции у живых организмов, успел уже в отличие от двух первых вышеназванных получить большую и глубокую разработку в теориях автоматического регулирования, поведения конечных автоматов, так называемых игр с природой и т.п. Первому и второму классам пока еще посчастливилось меньше. Как легко вывести из определений этих классов, первый из них, класс отображений, самым тесным образом связан с процессами и результатами активного обобщения, т.е. в конечном счете с "существенными" переменными, как они были обрисованы выше. Второй, класс функций разброса, столь же отчетливо обнимает проблемы приспособительной вариативности и конкретной реализации процессов и действий, т.е. проблематику "несущественных" переменных.

К классу функций отображения мы должны отнести все виды математических функциональных отношений, выражающих собой проекции одним образом организованных множеств элементов на другие множества элементов, переорганизованные другим, но вполне определенным (хотя бы и стохастическим) способом. Легко представить себе, насколько обширна область, охватываемая функциями класса отображений в биологической проблематике, где в нее входят многочисленные жизненно важные отношения между организмом и той средой, в которую он погружен и внутри которой он действует. Кодированная информация, воспринимаемая организмом, на всех этапах ее следования через рецептор, афферентный путь с промежуточными ядрами и мозговые синаптические системы в высшие кортикальные аппараты мозга — это целая цепь явлений из обсуждаемого класса. Каждый синтетический афферентный процесс отображается (конечно, далеко не ознозначно!) в ответном двигательном действии в широком смысле. Что всего важнее, в основе каждой обобщенной программы действия, как уже говорилось выше, лежат внутренние процессуальные системы отображения, которые я назвал "моделями настоящего и будущего".

Коды, запечатленные в молекулах ДНК и РНК, представляют собой биологические отображения процессов предстоящего развития и роста. Речь как психобиологическая и психосоциальная структура (с математическим языком включительно) есть опять-таки сложное, отнюдь не примитивно поэлементное отображение воспринимаемого мира и активности в нем субъекта. Важнейшей задачей для

---

[1] Предисловие "О перспективах математики в биокибернетике" к книге В. Черныша и А. Напалкова "Математический аппарат биологической кибернетики" (М.: Медицина, 1964).

исследования является теперь анализ (уже не в частных многообразных случаях, а в самых общих и определяющих чертах) тех законов, которые властвуют в области биологических и физиологических отображений. Не задерживаясь более на характерных примерах, я остановлю внимание в немногих словах на той своеобразной разновидности отношений отображения, которая принадлежит исключительно к биологическому кругу явлений и уже неоднократно затрагивалась мной и в очерках настоящей книги, и в этом заключении. Я имею в виду соотношения между моделью или программой двигательного акта и вообще любого активного процесса, оформленной в виде "модели будущего", и фактическим осуществлением этого акта или процесса. Можно считать, что второе представляет собой своеобразное отображение первого — активную проекцию запрограммированного мозгового кода на действительность с соответствующей временной задержкой. Уже наперед можно сказать, что адекватные всем соотношениям этого класса математические орудия еще должны быть найдены. Зато попутно есть основание думать, что создание этих новых орудий математического выражения решит заодно и проблему перцептроники, пока ускользающую от строгого решения.

Глубокое своеобразие класса отображений в биологических объектах особенно хорошо оттеняется при рассмотрении второго из упомянутых здесь классов — класса функций разброса.

Весь отраженный и в настоящем сборнике длительный опыт нашего исследовательского коллектива по линии точного изучения различных двигательных актов человека выявил одну неизменно присущую всем им черту. Эта черта, особенно ясно проступающая в навыковых, многократно повторяемых двигательных актах, как, например, локомоторные движения, письмо, простые производственные операции и т.п., состоит в неизменно свойственной всем этим актам довольно значительной вариативности кинематического рисунка или параметров кинематических уравнений, описывающих эти движения. Далеко не всегда удается выявить приспособительный смысл наблюдаемых вариаций между циклами движения (обусловливаемых, например, неровностями дороги при ходьбе, порывами ветра, сопротивлением материала или противника и т.д.). Значительный, так сказать, остаточный разброс между последовательными повторениями движения, наблюдаемый и при идеальном равенстве и постоянстве всех внешних условий, нельзя, судя по всему, относить полностью и за счет недонаблюденных, ускользающих от внимания факторов. Создается впечатление, что организму (по удачному выражению одного из моих коллег) в каких-то пределах и в каких-то направлениях "все равно", будет ли очередной цикл движения кинематически реализован так или на n сантиметров, или на t десятых долей секунды иначе.

Подчеркиваю сразу, что в навыковых движениях описываемого рода амплитуда наблюдаемого разброса принимает очень разные значения как по разным пунктам исполнительного органа, так и по смысловым фазам движения. По ходу приближения к целевым точкам движения, например в актах с установкой на меткость, эта амплитуда стремится к нулю, обеспечивая там, где это требуется задачей движения, совершенно поразительную точность (например, в баллистических движениях типа удара по мячу в теннисе, удара по шару на биллиарде, в акте стрельбы и др.). Таким образом, разброс, если и ведет себя с чисто

стохастическим безразличием ("все равно") по отношению к общей обстановке движения и наличию или отсутствию внешних мелких воздействий, то оказывается очень строго функционально регламентированным по отношению к смысловым фазам и задачам движения.

Нужно сказать, что разброс описываемого типа и облика не является принадлежностью одних лишь навыковых произвольных движений, а наоборот, выглядит как очень широкий, буквально всеобъемлющий принцип. Мы сталкиваемся с ним и в движениях гладкой мускулатуры (например, в кишечной перистальтике), в движениях беспозвоночных, не имеющих поперечнополосатой мускулатуры, в последовательных циклах электрокардиограммы, в колебаниях мерцательного эпителия или ресничек инфузорий и т.п.

Несомненно, следует сразу отвергнуть обезличивающие и непринципиальные попытки описания явлений разброса посредством привычных и машинально применяемых кривых распределения Гаусса или Пирсона. Помимо того, что такие описания очень мало информативны именно в силу своей безличности, важно то, что функции распределения Гаусса и Пирсона принципиально построены для отражения состояний или процессов в совокупностях очень высоких численностей неиндивидуализированных или даже неразличимых объектов. Но закономерности, характерные для секстильонов тождественных между собой неорганических молекул или ионов, не могут не отличаться по самому существу от функций, пригодных для отображения поведения существенно неоднородных коллективов умеренной численности[1], какими являются коллективы высокодифференцированных нервных клеток, мышечных волокон, элементов многих паренхиматозных органов и т.д. К последним видам функций необходимо подойти с принципиально иным математическим аппаратом.

Заметив прежде всего, что обсуждаемая вариативность — и приспособительная, и стохастическая — относится всегда только к несущественным, в нашем смысле, слагающим и параметрам движения, никогда не отражаясь на реализации его существенных целевых характеристик, мы, естественно, приходим к мысли, что в этой группе явлений необходимым образом отражаются черты своеобразной субординационной структуры управления, присущей двигательному аппарату. В самых общих, еще во многом предположительных очертаниях я попытался отобразить такую неодноуровневую структуру в своей монографии "О построении движений" (1947).

В последние годы наблюдаемая здесь субординация смогла получить в своих главных чертах и моделирующее математическое выражение, и экспериментальное подкрепление в ряде работ И. Гельфанда, В. Гурфинкеля и М. Цетлина[2] с сотрудниками.

Согласно модели этих авторов, вышестоящий управляющий прибор мозга

---

[1] Приближенные расчетные методы для коллективов такого типа, разработанные в вариационной статистике (Стьюдент, Пирсон и др.), преследуют одни только вычислительные, а не познавательные цели.

[2] *Гельфанд И., Гурфинкель В., Цетлин М.* О тактиках управления сложными системами в связи с физиологией // Биологические аспекты кибернетики. М.: Изд-во АН СССР, 1962; *Цетлин М.* // Успехи мат. наук. 1963. Т. 18, вып. 4 (112); *Пятецкий-Шапиро И., Шик М.* // Биофизика. 1964. Т. 9, вып. 4.

направляет по эфферентным путям в низовые (спинальные) инстанции не конкретные и детализированные команды мышцам, а команды о включении тех или иных рабочих матриц, выработавшихся ранее и локализованных, по многим данным, в сегментарных аппаратах спинного мозга в составе альфа- и гамма-нейронов, афферентных нейронов разных видов и качеств и так называемой интернейронной среды. Будучи включенной, каждая подобная функциональная матрица обладает достаточной степенью автономности в осуществлении соответствующих элементов двигательного акта, маневрируя и переключая свои составляющие либо по приказам мозговых приборов сличения о возникшем рассогласовании, основанным на афферентной сигнализации, либо, по-видимому, в тех случаях, когда ситуация оказывается почему-либо непосильной для данной матрицы, вызывая со стороны соответствующей сегментарной системы своего рода сигналы апелляции к вышестоящим органам мозга. Структурно описываемые низовые матрицы находятся в близкой аналогии с игровыми, причем поведение их функционально связано с какими-то еще неуясненными категориями афферентных сигналов, выполняющими на этом уровне роль "платы" или "штрафа".

Сейчас нам более важно отметить две другие стороны функционирования этих субординированных систем. Во-первых, мы необходимо должны приписать низовым матричным приборам не только способность к накапливанию опыта, т.е. к формированию своих связей и "тактик" на основании испытываемых взаимодействий с внешним миром, но и активный поиск оптимальных форм "игры с природой", которую они ведут. С этой точки зрения тот "остаточный" разброс, о котором было упомянуто выше и которому, по-видимому, не приходится приписать реактивно-приспособительного значения, будет правильным охарактеризовать как разброс поисковый — как активные формы прощупывания обстановки, ее градиентов, оптимальных направлений действования и т.п.

Во-вторых, если в самом деле вариативность и разброс возникают за счет функциональных свойств сегментарных матриц, выполняющих важную роль "подслаивания" существенных компонент действия и приспособления последнего к внешним условиям и помехам, то качественные математические характеристики наблюдаемых разбросов должны самым прямым образом зависеть от строения и форм целесообразных взаимоотношений между обоими субординационно связанными уровнями. А это означает, что функции разброса в каждом данном случае являются своего рода отображениями такого строения и таких форм. Если эта мысль справедлива, то сами по себе процессы управления актами действия, трудно доступные как для регистрации, так и для прямой математической интерпретации, смогут найти последнюю в своих отображениях через функцию разброса, во всем их широком качественном разнообразии и своеобразии. Какими именно алгоритмами эти функции окажутся связанными со своими оригиналами и будут ли эти алгоритмы изобразимыми в существующих сегодня понятиях и символах математики, — это уже вопрос непринципиальный.

Вместе с тем эта частная задача вплотную подводит нас к одному очень общему и важному вопросу — вопросу о математической интерпретации в биологии и физиологии.

Переживаемый нами период характеризуется комплексированием методов и стремлением к общему языку и совместной работе ученых разных специальностей. В частности, этот процесс проявляется возрастанием интереса и внимания математиков к биологическим проблемам и их математическому моделированию.

В начальных фазах попытки такого сближения математиков с биологией принесли с собой много разочарований. Как с грустью выразился в начале этого периода один из представителей биологического круга наук, "биологи понимают, но не умеют, а математики умеют, но... не понимают!".

Действительно, обращавшиеся к вопросам биологии ученые-математики далеко не сразу убедились, что находящийся в их руках великолепный аппарат, выработавшийся для анализа задач о неживой природе и безукоризненно обслуживающий проблематику физики и химии, неадекватен для освещения того нового круга вопросов, за который они с известной долей заносчивости взялись. По-видимому, сейчас этот начальный фазис недопонимания уже изжит или близок к этому, и передовые математики успели ясно представить себе, что их вооружение, перед которым не выстаивает ни одна твердыня неживой природы, не в силах пока созвучно выразить своеобразия, присущего проблемам жизни.

Теперь стало очевидным, что на путях математизации биологических наук речь должна идти не о каком-то приживлении или подсадке математики к биологии извне (именно такие попытки делались и, несомненно, еще будут делаться впредь), а о выращивании новых, биологических глав математики изнутри, из самого существа тех вопросов, которые ставятся перед нами науками о жизнедеятельности. Оснащенные (может быть, уже в недалеком будущем) настоящим, адекватным математическим аппаратом, биология и биокибернетика сольются тогда в синтетическую науку, которая станет для них новой и высшей ступенью.

Осветить в меру своих возможностей один из малых, но перспективных уголков этой новой, влекущей к себе широкой долины познания, которая открывается перед нами, как перед путниками, поднявшимися на очередную вершину высокогорного хребта, было задачей автора. Это и привело к публикации настоящей книги.

НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ БЕРНШТЕЙН
(1896—1966)

I

Николай Александрович Бернштейн — одна из наиболее значительных фигур среди исследователей мозга XX века. Тонкий экспериментатор и глубокий мыслитель, он заложил основы современной биомеханики и теории управления движениями человека, а созданное им новое направление исследований функций мозга — "физиология активности" — явилось воплощением системного подхода в изучении поведения человека и животных. Творчески освоив достижения передовых физиологических школ своего времени, ученый остался самобытным, оригинальным в своих исследованиях.

Свою судьбу имеют и книги, и идеи, и научные школы. Иногда школа развивается мощным потоком, принимая в себя небольшие притоки, не меняющие коренным образом его течения. Иногда этот поток сливается с другим, и уже невозможно однозначно сказать, чьим продолжением он является. Иногда он разбивается на течения, впадающие в другие потоки и обогащающие их. Но иногда поток отдает часть своей воды в подземные русла, и прослеживается только то, что осталось на поверхности. А потом где-то выбиваются из почвы новые родники. Новые потоки набирают силу, растут, крепнут — и не сразу заметишь, что в них течет и вода старого потока. Так можно представить себе связь между Николаем Александровичем Бернштейном и Иваном Михайловичем Сеченовым.

Замечательные идеи И.М. Сеченова развивались в разных направлениях. Прямыми продолжателями дела Сеченова в его петербургской лаборатории были Н.Е. Введенский и А.А. Ухтомский. Особенно рельефно была воспринята мысль Сеченова о рефлекторном принципе в работе мозга. Развитию этой стороны сеченовского наследия были посвящены исследования И.П. Павлова. Другое направление — активность в действиях животного — не было подхвачено, да и не могло быть подхвачено на том уровне науки. Именно эта сторона сеченовских работ была близка Н.А. Бернштейну.

В 1863 г. в "Медицинском вестнике" были напечатаны "Рефлексы головного мозга"[1] И.М. Сеченова — работа не только глубоко научная, но и страстно полемическая, публицистическая, адресованная не только специалистам — физиологам и психологам, но широкому кругу людей, думающих и ищущих знания о мире, в котором они живут, и о самих себе. 34-летний автор выступил не только как естествоиспытатель-экспериментатор, но и как мыслитель, как борец, как гражданин в высоком смысле этого слова.

В "Рефлексах головного мозга" Сеченов утверждал, что вся психическая деятель-

---

[1] *Сеченов И.М.* Рефлексы головного мозга // Мед. вестн. 1863. N 47, 48.

ность основана на рефлекторном принципе, что ее источник — впечатления, получаемые в результате воздействий на организм окружающего мира. Однако Сеченов не остановился на схеме рефлекса, работающего по принципу стимул — реакция. В книге "Физиология нервных центров"[1], изданной в 1891 г., он сравнивает механизмы работы нервной системы с регулятором Уатта, т.е. видит в работе мозга регуляторы, осуществляющие целесообразную деятельность, изменяющие ход регулируемого процесса в зависимости от того, в каком отношении находится регулируемый процесс к тому, что является целью регулирования. Изучение саморегуляции как пути к активному достижению цели, т.е. использование информации об уже достигнутом для управления дальнейшим приближением к цели, — характернейшая черта науки XX в., нашедшая яркое выражение в кибернетике. Во время же, когда работал И.М. Сеченов, эти идеи были новы и, как часто бывает с новым, малопонятны. Даже в представлении потомков рефлекторный принцип, развиваемый Сеченовым, все время оставался на виду и временами казался единственным руслом, продолженным после Сеченова прежде всего И.П. Павловым.

Идея же активной саморегуляции (проявившаяся у Сеченова в открытом им центральном торможении), позволяющей достичь некоторой наперед поставленной цели, столь успешно развитая позже кибернетикой, тоже восходит к Сеченову, на что справедливо обратил внимание М.Г. Ярошевский[2]. Эта струя в психологии и физиологии выбилась на поверхность, стала зримой — прежде всего в нашей стране — задолго до возникновения кибернетики. Ее пионером был Н.А. Бернштейн.

Судьба Н.А. Бернштейна как ученого не очень характерна для биолога; чаще подобные судьбы складывались у исследователей в точных науках, в первую очередь математиков. В наиболее продуктивный период научного творчества Н.А. Бернштейна его вклад не получил (и, видимо, не мог получить — настолько он опередил свое время) адекватной оценки. И только в последние годы его жизни, а еще больше после кончины, в связи с бурным развитием кибернетики и порожденного ею круга идей, стало очевидным колоссальное значение вклада Бернштейна для всего комплекса наук о мозге, начиная с собственно нейрофизиологии и кончая проблемами нейролингвистики, искусственного интеллекта, создания роботов, тренировки космонавтов. Ярким примером значения трудов Н.А. Бернштейна для современной науки явилась, например, книга "Human Motor Action: Bernstein Reassessed", изданная под редакцией H.T.A. Whiting в 1984 г. в серии "Advances in Psychology" издательством North-Holland. Каждый из шести разделов этой книги начинается английским переводом одной из статей Н.А. Бернштейна, вслед за которой следуют две статьи современных исследователей из разных стран — как правило, крупных ученых, развивающих идеи Бернштейна уже на уровне 80-х годов.

Видимо, именно с Н.А. Бернштейна будет вестись отсчет существования возникающей науки — теоретической нейрофизиологии, подобно тому как начало теоретической физики связывается с именем Максвелла. Такая аналогия усили-

---

[1] *Сеченов И.М.* Физиология нервных центров. СПб., 1891.

[2] *Ярошевский М.Г.* Сеченовские идеи о мышечной чувствительности в свете теории отражения и кибернетики // Вопр. философии. 1963. N 9.

вается глубоким сходством существа научного вклада этих ученых и ситуации в науке. Оба исследователя начинали свое научное творчество на фоне великих достижений экспериментаторов: в одном случае — Фарадея, в другом — Шеррингтона и И.П. Павлова. И оба ввели в исследования точную количественную меру и аппарат современной математики.

Историки науки, исследуя творчество ученого, обычно много внимания уделяют влиянию на него других ученых и научных направлений. Влиянию же семьи, в которой прошли детские и юношеские годы будущего ученого, отводится меньше внимания. Однако нередко культурные традиции семьи передаются как эстафетная палочка, причем такая, на которой каждое поколение оставляет свои зарубки. Н.А. Бернштейн родился в Москве 5 октября 1896 г. в семье, культурные корни которой известны с XVIII в. Дед со стороны отца, Натан Осипович Бернштейн, умер за пять лет до рождения Николая Александровича. Однако его влияние на детей и — через них — на внука не вызывает сомнений. Он был врачом, физиологом и общественным деятелем. Еще будучи студентом-медиком в Московском университете, он был в 1853 г. награжден золотой медалью за работу "Анатомия и физиология легочно-желудочного нерва". В 1865 г. его назначили приват-доцентом Новороссийского университета в Одессе по кафедре физиологии и анатомии. Натан Осипович изучал физиологию в лучших лабораториях того времени: в 1866 г. — в Берлинской физиологической лаборатории Р. Дюбуа-Раймона, в 1868—1869 гг. — в лаборатории К. Людвига в Лейпциге. В 1871 г. в Новороссийский университет пришел Иван Михайлович Сеченов. С этого года Натан Осипович оставил за собою только курс анатомии, передав физиологию Сеченову.

Отец Николая Александровича — Александр Николаевич (Натанович) Бернштейн — был известным московским психиатром, учеником С.С. Корсакова. Его деятельность оставила заметный след в психиатрии. Но, кроме эрудиции и творческого вклада в психиатрию, в его трудах ясно просматривается очень широкий круг интересов — от точных до гуманитарных наук и искусства. Вопросы психиатрии и психологии он связывает с передовой для того времени физиологией, с идеями Сеченова.

Нельзя не обратить внимания на то, что детские и юношеские годы Николая Александровича прошли среди людей с широким кругом интересов, в обстановке творческих поисков в науке и серьезного отношения к проблемам воспитания и образования.

В 1919 г. Н.А. Бернштейн окончил медицинский факультет I Московского университета; одновременно изучал математику, естественные науки. По окончании университета сразу же начал службу в Красной армии в качестве военврача. После демобилизации недолго работал психиатром в клинике В.А. Гиляровского, но вскоре перешел в Центральный институт труда, куда был приглашен А.К. Гастевым и К.Х. Кекчеевым в 1922 г. и где через короткое время возглавил лабораторию биомеханики. Основной задачей, поставленной Гастевым перед лабораторией биомеханики, было изучение трудовых движений человека в естественных условиях с целью облегчения труда и повышения его эффективности.

II

С работы в Центральном институте труда начинается первый период научного творчества Н.А. Бернштейна. Столкнувшись с отсутствием методов, адекватных задаче исследования трудовых движений человека в естественных условиях, молодой ученый разработал и применил новые методы исследования (кимоциклография, циклограмметрия с последующей математической обработкой результатов наблюдений), проявив незаурядный талант изобретателя. Им создан оригинальный математический метод анализа апериодических колебаний, используемый в нейрофизиологии. Предложенные им принципы исследования движений оказались весьма результативными не только при изучении трудовых движений человека, но и при изучении спортивных движений (ходьбы, бега, прыжка), фортепианной игры, при изучении и лечении нарушений моторики в результате ранений и заболеваний нервной системы, при оптимизации протезирования конечностей, а позже и при тренировке космонавтов. Н.А. Бернштейн организовал ряд лабораторий (в Институте экспериментальной психологии, Государственном институте музыкальной науки — ГИМН, Институте охраны труда, Всесоюзном институте экспериментальной медицины — ВИЭМ, Центральном институте физической культуры и др.), развернув широкий фронт биомеханических и нейрофизиологических исследований. Наряду с выходом в практику (например, разработка рабочего места вагоновожатого трамвая) новые данные требовали и нового теоретического осмысления.

В этом плане Н.А. Бернштейну были близки работы академика А.А. Ухтомского. Уже в начале 20-х годов для Бернштейна были очень важны понятия о доминанте, установочно-регуляционной роли, которую Ухтомский отводил нервным ритмам, их усвоению: ведь существенной стороной настройки мускулатуры является предваряющая, упреждающая настройка.

В свою очередь, Ухтомский тоже рано заметил появление на физиологической ниве нового яркого направления исследований. В курсе лекций, прочитанных студентам Ленинградского университета в 1924—1926 гг., он говорил: "Молодой русский ученый Н.А. Бернштейн дал блестящий пример того, как надо использовать метод Фишера для полной механической оценки того или иного рабочего движения". Речь идет об исследованиях Бернштейна, начавшихся с изучения рабочих движений удара молотком и приведших к созданию нового метода исследований движений — циклограммометрии — и новых способов точной обработки полученных результатов. А.А. Ухтомский продолжает: "Не говоря о технической важности подобной обработки рабочих движений, она представляет вдохновляющий интерес с чисто научной точки зрения. Ни один прежний метод регистрации двигательных реакций организма не дает такой полноты и объективности, как метод циклограммографический. И ни один прежний метод изучения двигательных реакций не обладает такой наглядностью и точностью, как метод циклограммометрии. Нельзя сомневаться, что ему принадлежит громадная будущность"[1].

Но разработка методов исследования явилась лишь первым шагом долгого и нелегкого пути Бернштейна — пути, который, вопреки внешним трудностям, характеризуется удивительным единством. В конечном счете этот путь привел к резуль-

[1] *Ухтомский А.А.* Собрание сочинений. Л.: Изд-во ЛГУ, 1952. Т. 3. С. 161.

татам, не умещающимся в традиционные рамки физиологии. Движения человека оказались не разбитыми на "кванты", кусочки, а выступили как целостный слитный акт сложной системы, управляемой целью, образом конечного результата этого движения. Объектом изучения оказался уже не нервно-мышечный препарат или даже не движущаяся конечность (как в классической физиологии), а нервный аппарат человека, имеющего свои цели, строящего планы их достижения и реализующего поставленные цели.

Анализ движения в конечном счете перерос из задачи исследования в средство познания законов работы центральной нервной системы. Н.А. Бернштейн считал, что "... моторика человека может и должна оказаться превосходным индикатором для изучения в ней процессов, происходящих в центральной нервной системе"[1]. Он подчеркивал, что этот "двигательный индикатор высшей нервной деятельности" отличается большой выразительностью, способностью отражать быстротекущие процессы работы мозга. "Движение уже перестает быть интересным нам своей чисто внешней феноменологической стороной. Мы уже уловили, что в нем содержится богатейший материал о деятельности ЦНС; правда, содержится он там в зашифрованном виде, но ведь нет такого шифра, которого нельзя было бы раскрыть при достаточном внимании и упорстве, при достаточной воле к этому"[2].

Особенность подхода Н.А. Бернштейна к изучению того, каким образом мозг управляет движениями, состояла в совершенно новом для того времени *выяснении свойств объекта управления.* Невозможно изучать, как происходит управление, не изучив детально свойств управляемой системы. Потребовалось много усилий для получения необходимых сведений о биомеханике опорно-двигательного аппарата[3]. Подчеркивая сложность этого аппарата, его многозвенность и обилие степеней свободы, нелинейные свойства основных характеристик скелетных мышц, Бернштейн обращает особое внимание на отсутствие однозначной связи между иннервационными командами и результирующим движением. Уже в первой экспериментальной работе, посвященной биодинамическому анализу удара молотком[4], было показано, что любое натуральное движение является чрезвычайно сложным и вариабельным и что в его осуществлении помимо мышечных сил значительная роль принадлежит силам немышечного происхождения — внешним, инерционным и реактивным силам. Поэтому к этому времени исследований центральная нервная система должна использовать какие-то нетривиальные способы управления с тем, чтобы траектория рабочей точки (молотка) была каждый раз постоянной при изменяющихся условиях.

Такой ход мысли привел к необходимости исследования проблемы координации — преодоления избыточных степеней свободы. Бернштейн раскрывает сущность самого слова: ко-ординация намекает на совместность действий отдельных элементов. В статье, опубликованной в 1935 г., он пишет: "координация — есть деятель-

---

[1] *Бернштейн Н.А.* Вопросы координации движений и моторного поля // Г.П. Конради, А.Д. Слоним, В.С. Фарфель. Физиология труда. М.: Биомедгиз, 1935, с. 449.

[2] Там же, с. 450.

[3] *Бернштейн Н.А.* Общая биомеханика. М.; Изд-во ВЦСПС, 1926.

[4] *Бернштейн Н.А.* Исследования по биомеханике удара с помощью световой записи // Исследования ЦИТ, М., 1923. Т. 1, вып. 1. С. 9—79.

ность, обеспечивающая движению его слитность и структурное единство... она базируется на определенной организации совместного действия нейронов"[1].

Так, начав с изучения биомеханики, Н.А. Бернштейн вскоре превратил биомеханику из объекта исследования в средство, в модель для решения более общих и широких вопросов построения управляющей деятельности мозга высокоорганизованных организмов и человека. Разработав методы точной оценки биомеханических характеристик разных двигательных актов, он использовал полученные результаты для оригинального анализа организации процессов управления в центральной нервной системе с позиции требований, налагаемых структурой управляемого периферического объекта и характеристиками его деятельности. Такой подход предопределил огромную роль дедукции, теоретического анализа в его творчестве и благодаря необычайной силе интеллекта привел уже в середине 30-х годов к формулированию исключительно глубоких принципиальных выводов о кардинальных особенностях процессов мозгового управления деятельностью, которые лишь спустя десятилетие возродились вновь в трудах создателей кибернетики. Да и до нашего времени многие идеи Н.А. Бернштейна, высказанные им в первой половине 30-х годов, воспринимаются как программа действий, программа развертывания исследований.

Н.А. Бернштейн сформулировал важнейшее положение о том, что выработка навыка какого-либо движения состоит не в повторении одних и тех же команд, а в выработке умения каждый раз заново решать двигательную задачу (принцип "повторения без повторения" как принцип обучения). Большим достижением Бернштейна явилось установление им наличия однозначного результата движения рабочей точки в соответствии с "моделью потребного будущего" при неоднозначном пути достижения этого соответствия, неоднозначности эффекторных команд (в зависимости от условий). Стабильность высоко существенного (достижение результата действия) обеспечивается вариативностью мало существенного (способ достижения этого результата). Соответствие двигательной задачи и реального движения рабочей точки (она может располагаться на руке или на орудии труда) достигается поступлением информации об уже достигнутом и сопоставлением ее, сличением с моделью потребного будущего. В основу координирования двигательных актов положен принцип сенсорных коррекций. Этот принцип стал одним из важнейших в современных подходах к регуляции поведения человека и животных. Предвосхитив основные принципы кибернетики, Н.А. Бернштейн уже в 1929 г., опираясь на идеи высоко им ценимых И.М. Сеченова и А.А. Ухтомского, развил принцип обратной связи и сенсорных коррекций, перейдя от классического представления о разомкнутой рефлекторной дуге к представлению о замкнутом контуре регулирования.

Мысли об участии центростремительной иннервации в регуляции деятельности мышц кратко высказывались еще Ч. Беллом и И.М. Сеченовым. Но экспериментально применительно к организации движения принцип циклического управления на обратных связях, т.е. использование сигналов о достигнутом результате для достижения необходимого (потребного) результата, был сформулирован в 1929 г. в одной из ранних работ Н.А. Бернштейна. 33-летний ученый писал: "Каждый моторный импульс, приводя к двигательному эффекту на периферии,

---

[1] *Бернштейн Н.А.* Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина, 1966. С. 52.

тем самым вызывает проприоцептивные, центростремительные иннервации, влияющие, в свою очередь, на дальнейшее протекание моторных импульсов. Таким образом, здесь получается некоторая циклическая связь взаимной обусловленности, могущая быть количественно прослеженной до конца"[1].

Н.А. Бернштейн сформулировал принцип "равной простоты": для всякой структурной схемы, которая может выполнять множество различных элементарных процессов, принадлежащих к некоторому многообразию, линии равной простоты соответствуют тем направлениям на многообразии, передвижение по которым не меняет ни структурных принципов, ни принципов функциональной схемы.

Целостность и структурная сложность живого движения, которая была подмечена И.М. Сеченовым и нашла отражение в принципе доминанты А.А. Ухтомского, стала объектом глубокого исследования Н.А. Бернштейна. Его взгляды, основанные на большом экспериментальном материале, были изложены в статье "Проблема взаимоотношений локализации и координации"[2]. Статья, опубликованная в 1935 г. в журнале "Архив биологических наук", сейчас стала уже классической. Эта статья подводит итог первого периода научных исследований Н.А. Бернштейна.

Революционно новым (и, увы, плохо понятым современниками) в этой статье было утверждение, что если приспособительная реакция организма формируется в процессе своего непрерывного сенсорного корригирования, то в центральной нервной системе неизбежно должно существовать в какой-то "закодированной" форме предвосхищение требуемого конечного результата реакции — "модель потребного будущего", как ее назвал Н.А. Бернштейн. Основную мысль этой статьи можно сформулировать так: «на основе циклографического анализа тонких особенностей моторики было установлено, что даже самая простая двигательная реакция не вызывается какой-то заранее фиксируемой "преформированной" совокупностью возбуждений, что она, напротив, формируется импульсами, которые определяются лишь *по ходу* становления реакции и зависят:

а) от информации, приносимой по афферентам, о ситуации на данный микроинтервал времени на двигательной периферии;

б) от степени расхождения (т.е. от того, что *теперь* стало широко обозначаться в физиологической литературе как "рассогласование" между этой ситуацией и задачей движения). Формирование двигательной реакции происходит, таким образом, в процессе ее непрерывного сенсорного корригирования, непрерывной, все более точной подгонки под требуемое конечное выражение»[3].

Координация — деятельность, обеспечивающая движению его целостность и структурное единство, — базируется главным образом не на особенностях процессов в одиночных невронах, а на определенной *организации* совместного действия последних. Организация же не может не быть отображена в анатомическом плане в виде определенной *локализации.* Но, как подчеркивает Н.А. Бернштейн, не следует смешивать локализацию с топикой.

---

[1] *Бернштейн Н.А.* Клинические пути современной биомеханики // Сборник трудов Государственного института усовершенствования врачей им. В.И. Ленина в Казани. 1929. Т. 1. С. 249—270.

[2] *Бернштейн Н.А.* Проблема взаимоотношений локализации и координации // Арх. биол. наук. 1935. Т. 38. N 1. С. 1—34. См. также: *Бернштейн Н.А.* Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина, 1966. С. 39—78.

[3] *Бассин Ф.В.* О подлинном значении нейрофизиологических концепций Н.А. Бернштейна // Вопр. философии. 1967. N 11. С. 69.

В этой работе уже четко сформулированы идеи сенсорных коррекций (обратной связи) и рефлекторного кольца, сменившие традиционное представление о разомкнутой рефлекторной дуге, — идеи, предвосхитившие появление кибернетики. Бернштейном проложен путь от сеченовского "контроля движений чувством"[1] к кибернетике.

Большой заслугой Н.А. Бернштейна является установление им того, что движение направляется "моделью потребного будущего". Им было показано, с помощью каких средств двигательная задача реализуется в виде необходимого периферического результата. Соответствие двигательной задачи и реального движения рабочей точки при неоднозначности пути достижения этого соответствия, вариабельности условий реализации, непредвиденных помехах достигается поступлением информации об уже достигнутом и сопоставлением этой информации с моделью потребного будущего. В основу координирования двигательных актов Бернштейн положил принцип сенсорных коррекций, получивший признание в физиологии движений.

Н.А. Бернштейн одним из первых начал рассматривать управление движением как реализацию некоторой программы, хранящейся в центральной нервной системе в закодированном виде. Органическая слитность движений, их целостность в пространственно-временной реализации — веский аргумент наличия в центральной нервной системе "точных формул движений или энграмм последних". И далее Бернштейн продолжает: "Мы можем утверждать, что в тот момент, когда движение началось, в ЦНС имеется в наличности уже вся совокупность энграмм, необходимых для доведения этого движения до конца. Существование таких энграмм доказывается, впрочем, уже самим фактом существования двигательных навыков и автоматизированных движений"[2]. Н.А. Бернштейн пишет о моторном образе, проекте движения: "... в высшем центральном органе необходимо должно существовать точное отображение того, что далее будет иметь место на периферии"[3].

Среди новых течений, внесенных Сеченовым в понимание работы нервной системы, была также его борьба против "анатомического начала" и узкого локализационизма. В предисловии к лекциям по физиологии нервных центров, прочитанным Сеченовым для врачей в 1889—1890 гг., он писал, что хочет прежде всего "внести в описания центральных нервных явлений физиологическую систему на место господствующей по сие время анатомической, т.е. поставить на первый план не форму, а деятельность, не топографическую особенность органов, а сочетание центральных процессов в естественные группы"[4].

Эта линия сеченовской идеи также получила блестящее развитие в исследованиях Н.А. Бернштейна, завершающих первый период его творчества.

В середине 30-х годов Н.А. Бернштейн написал книгу "Современные искания в физиологии нервного процесса", в которой дал критический очерк истории

---

[1] *Сеченов И.М.* Избранные философские и психологические произведения. М.: Госполитиздат, 1947. С. 387.

[2] *Бернштейн Н.А.* Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина, 1966. С. 58.

[3] Там же. С. 62.

[4] *Сеченов И.М.* Физиология нервных центров // Избранные произведения. М.: Изд-во АН СССР, 1956. Т. 2. С. 662.

нейрофизиологических исследований и анализ современного ему состояния нейрофизиологии. Эта книга явилась как бы "стартовой площадкой", с которой начал свой путь новый этап нейрофизиологии — этап, на котором ученый был одним из первопроходцев. (Эта книга готовилась к выпуску Госиздательством биологической и медицинской литературы в 1936—1937 гг., но по ряду обстоятельств, к сожалению, не увидела света: книга не утратила интереса и для современного читателя и, надо надеяться, будет издана.) В главе "Центр и локализация. Исторический очерк" ярко нарисована история вопроса о взаимоотношении топики и функции.

В XVIII в. появилась новая натуралистическая теория мозга Галлера. Он определял мозг как "общее чувствилище" (sensorium commune). Галлер считал, что в мозге нет четко пространственно ограниченных центров отдельных функций (зрения, слуха и др.), а они диффузно распределены на преобладающей части мозга. В это же время возникли частично научные (анатомические), а частично фантастические (френология) представления Галля, утверждавшего, что каждая функция имеет свою четкую локализацию в мозге. Локализованными представлялись не только "простые" функции, но и чувство места, речи, цвета, инстинкты размножения и самосохранения, поэтический и математический таланты и даже едкость ума, почтительность, детолюбие, богобоязненность и т.д.

Н.А. Бернштейн проследил историю антилокализационизма и локализационизма — двух течений, берущих истоки от Галлера и Галля, — историю, которую Н.А. Бернштейн уподобил качанию маятника от одного полюса к другому.

После Галля маятник качнулся в другую сторону — к антилокализационизму. Флуранс, удаляя у птиц мозговые полушария постепенно, по слоям, вначале вообще не обнаруживал существенных растройств в умственной или волевой области. Удаление же большей части вещества полушарий приводило к равномерному и все большему снижению нервно-психических возможностей. Функции, пострадавшие при экстирпации, постепенно восстанавливались, если хоть одна часть головного мозга (и несущественно — какая) оставалась неповрежденной. Отсюда и вывод Флуранса, что масса мозговых полушарий физиологически столь же равноценна и однородна, как масса какой-нибудь железы.

Но дальнейшее накопление фактов вновь привело исследователей к локализационизму. Воздействуя на кору головного мозга электрическим током, Фритш и Гитциг установили, что раздражению отдельных участков коры мозга соответствуют определенные изолированные движения. Увеличивалось число исследователей — экспериментаторов и клиницистов, возрастало и число открытых нервных центров, размер которых становился все меньше. Появилось представление, что каждая нервная клетка есть элементарный нервный центр, "нервная клетка была припечатана названием центра" (Бэте).

Но что же "локализуется" в центре? Одно направление признавало, что локализуется чувствительность (теория сенсорных центров). Мунк, Мейнерт, И.П. Павлов видели в коре скопление чувствительных центров. Другое направление, начатое работами Флексига, признавало наличие не только сенсорных центров, но и центров, не связанных прямо с периферией (теория ассоциационных центров — Бродбент, Флексиг, С.С. Корсаков).

Н.А. Бернштейн отмечал, что бесспорный приоритет в области физиологического ассоционизма принадлежит И.М. Сеченову — первому из физиологов,

"отважившихся опереться на законы ассоциации для физиологического объяснения поведения человека".

Однако исследования с экстирпацией локальных участков мозга вновь толкнули маятник в сторону антилокализационизма. Опыты Гольтца показали, что на локальную экстирпацию организм реагирует как целостная и неразделимая на составные части система. После тяжелых общих явлений, непосредственно следовавших за мозговой операцией (первичный шок), на первый план начинают выступать нарушения, охватывающие одновременно разнообразные функции — и движения, и чувствительность, и проявления высшей нервной деятельности. Эти нарушения в дальнейшем ослабевают и могут (при не слишком обширной экстирпации) исчезнуть бесследно. При экстирпации всей коры мозга остаются изменения, носящие не ограниченно-функциональный, а синтетический характер.

Н.А. Бернштейн в своих работах подчеркивал, что И.М. Сеченов ясно сознавал, какой сложнейший комплекс процессов возникает в организме при нарушении целости коры полушарий. Это проявляется и в характере нарушений после экстирпации, и в характере восстановления функций в последующий период. К выводам Флуранса, работавшего только на птицах, Сеченов в "Физиологии нервных центров" добавил, что самый произвольный характер движений и осмысленность чувствования страдают с удалением полушарий тем менее, чем ниже животное по степени развития полушарий. Сеченов представлял себе сложность вопроса о локализации функций. И локализационисты и их научные противники приводили факты и доводы в пользу своей правоты, но не опровергали факты и доводы друг друга.

К решению проблемы локализации функций в мозге Н.А. Бернштейна подвели его экспериментальные исследования по биодинамике, интенсивно проводившиеся в 20-х и первой половине 30-х годов. Им была разработана методика кимоциклографии и циклограммометрии.

Представшее перед исследователем море фактов требовало нового осмысления. Из этих потребностей жизни и возникла потом физиология активности, созданию которой посвящены исследования Н.А. Бернштейна. Сеченовская "жилка" в творчестве Бернштейна "пробилась" не только в идее саморегуляции, в идее о роли "мышечного чувства" в регуляции движения, в идее о сигнальной роли чувствования. Сеченовское влияние чувствовалось во всем стиле, во всем духе жизни творчества Н.А. Бернштейна: смелость и самобытность мысли, честность и самоотверженность, неуклонное проведение того, что представляется истиной.

III

1935 г. можно считать началом второго периода творчества Н.А. Бернштейна. Опубликована большая и глубокая статья "Проблема взаимоотношений координации и локализации"[1]. Присуждение Николаю Александровичу в 1935 г. ученой степени доктора медицинских наук по совокупности работ было как бы официальным признанием большой научной значимости проведенных им исследований.

Развитие творческой мысли Н.А. Бернштейна можно представить следующим образом. Вначале на основе анализа биомеханики двигательного акта с учетом

---

[1] Арх. биол. наук. 1935. Т. 38, N 1.

свойств органа движения как сложной кинематической цепи с большим числом степеней свободы и воздействия "пассивных" физических сил был установлен способ достижения однозначного соответствия центральной задачи и периферического результата при неоднозначном соответствии их эффекторным командам. Это достигается путем сенсорной информации об эффекте, со сличением того, что должно быть (прогноз результатов действия), с тем, что имеется на самом деле, и выработкой на основе выявленных рассогласований корригирующих эффекторных сигналов. Детальному обоснованию и разработке с привлечением нужного математического аппарата подвергся в результате четко сформулированный принцип обратной связи — один из фундаментальных в науке об управлении. Была определена задача управления многозвенными исполнительными органами с большим числом степеней свободы — как устранение избыточных степеней свободы. Как следствие упомянутых принципиальных положений, были разработаны важные общие вопросы мозгового отображения внешнего мира и направленного на его преобразование воздействия с выяснением роли метрических и топологических характеристик, неправомерности прямого соотнесения внешней функции со структурой мозга, в свете которого вырисовывалась ясная альтернатива как локализационистскому, так и эквипотенциалистскому подходу в этом вопросе. По Бернштейну, морфологически разнящиеся структуры мозга выступают в качестве особых операторов, обеспечивающих осуществление любой функции мозгом как целым. Развивая эту идею и используя накопленные факты, Н.А. Бернштейн со временем пришел к представлению о том, что морфологические различия в структуре мозговых зон отражают особенности организации конкретной нервной сферы, выступающей как оператор. Локализованными в мозге оказываются не внешние функции (речь, моторные действия и т.д.), а операции (мультипликация, дизъюнкция, конвергенция и т.д.). В этих вопросах нейрофизиологи только сейчас начинают подтверждать идеи Н.А. Бернштейна и высоко оценивать их значение.

Дальнейшее развитие творчества Н.А. Бернштейна связано с детальной разработкой принципов управления двигательной системой, с выяснением иерархической многоуровневой (по вертикальному принципу) организации такого управления, с анализом возможной роли разных этажей центральной нервной системы. Николай Александрович создает общую теорию построения движений. Доскональному изучению были подвергнуты механические силы, действующие на движущийся орган, и иннервационная структура двигательных актов, ограничивающие число степеней свободы в сложной кинематической цепи.

Общие принципы управления движениями привели Н.А. Бернштейна к представлению об иерархической структуре сложных систем управления (в этом он тоже был предтечей кибернетики). Он показал определяющую роль афферентаций в построении движений. Афферентации эти различны на разных уровнях. Появление в филогенезе более высоких уровней центральной нервной системы связано не с узурпацией этими уровнями функций низших уровней (бывших ранее высшими), а с усложнением возможностей управления движениями, с усложнением функции и низших уровней. Бернштейн изучал механизмы автоматизации и дезавтоматизации (в патологии) движений.

Исследования Н.А. Бернштейна выявили несостоятельность узкого локализационизма: в мозге локализуются лишь операторы логических процессов, а не

сами внешние функции. Было показано, как из афферентации вырастает субъективное пространство, из пространства — предмет, из предмета — наиболее обобщенные объектные понятия. Из эффекторики же вырастает субъективное время, из времени — смысловое действование, из последнего на наиболее высоких уровнях — поведение и, наконец, верховный синтез поведения — личность или субъект. Николай Александрович анализирует предметный уровень движений, где ведет не чисто физический пространственный, а смысловой образ, в котором фиксировано значение предмета (предмет выступает не как физический стимул, а как носитель конкретно-исторического опыта). В этом проявилась близость его идей с идеями Л.С. Выготского. Характерной особенностью этого уровня является преобладание топологических характеристик объектов внешнего мира, а не их метрики, свойство безразличия к масштабу и положению производимого движения.

Работы Н.А. Бернштейна открыли новые возможности анализа двигательных расстройств при поражении различных отделов мозга. Основанное на идеях Бернштейна изучение моторики людей с различными поражениями нервной системы позволило не только принципиально изменить представления о "локализации функций" в нервной системе, но и выработать эффективные приемы восстановления нарушенных функций, что оказалось крайне важным для лечения раненых в период Великой Отечественной войны. В послевоенные годы идеи Бернштейна были использованы при конструировании протезов верхних и нижних конечностей, шагающих автоматов и разработке соответствующих управляющих устройств на основе ЭВМ.

Итоги второго периода творчества обобщены Н.А. Бернштейном в монографии "О построении движений", опубликованной в 1947 г. (монография целиком вошла в этот том), а в 1948 г. удостоенной Государственной премии СССР.

IV

Третий период творчества Николая Александровича Бернштейна охватывает 50-е и 60-е годы, когда ученый, лишенный в силу известных обстоятельств возможности вести экспериментальные исследования, сосредоточил свое внимание на теоретической работе. На основе нового понимания жизнедеятельности организма им были созданы физиология и биология активности.

Живой организм Бернштейн рассматривал не как пассивную реактивную систему, отвечающую на внешние стимулы и приспосабливающуюся к условиям среды, а как созданную эволюцией активную, целеустремленную систему, имеющую некоторые потребности, цели, модель потребного будущего и активно преодолевающую сопротивление среды, изменяющую среду в соответствии с этими потребностями, целями, образами. Цели живого организма могут возникать как проявление приобретенных или врожденных потребностей и реализовываться на базе как видового, так и индивидуального опыта с построением в каждом случае модели потребного будущего. Николай Александрович считал, что процесс жизни есть не "уравновешивание с окружающей средой", как понимали мыслители периода классического механицизма, а преодоление этой среды, направленное не на сохранение статуса или гомеостаза, а на движение в направлении родовой программы развития и самообеспечения. Он рассматривал живой организм

как негэнтропийную систему. Подчиненность деятельности цели, образу потребного будущего отражает принцип материалистической телеологии, принцип целесообразного (сообразного цели!) характера действий живого организма. Действие детерминировано конкретной задачей, потребностью, достижение или удовлетворение которых использует прошлый опыт. Сущность целевой детерминации поведения можно выразить так: действие детерминировано прошлым и "образом потребного будущего", которые сличаются с настоящим и экстраполируются на будущее. Бернштейн показал, что наряду с вопросами "как?" и "почему?" материалистическая наука о живой природе должна отвечать еще и на вопрос "для чего?".

Н.А. Бернштейн по праву может быть назван создателем физиологии активности как научного направления в физиологии с последовательным приложением принципа активности как ведущего к деятельности по организации адаптивного поведения. Разработка физиологии активности, которой ученый уделял особенно большое внимание в последние годы жизни, имеет непреходящее значение для физиологии, биологии, психологии, для материалистической философии, ибо способствует более глубокому, антимеханистическому подходу к решению такой проблемы проблем, как "психика и мозг".

Итоги этого периода творчества Н.А. Бернштейна подведены в ряде его статей и в книге "Очерки по физиологии движений и физиологии активности", вышедшей в год его кончины (1966 г.). Созданная ученым "физиология активности" — направление, далеко выходящее за рамки физиологии, охватывающее проблемы психологии, биологии. Может быть, правильнее было бы говорить о биологии активности. Это глубоко оригинальное направление в науке, уходящее корнями к И.М. Сеченову и А.А. Ухтомскому, а кроной смыкающееся с кибернетикой.

Краткая характеристика физиологии активности дана в статье Г. Гургенидзе в философской энциклопедии: "Наиболее простые и наименее значимые для организма действия целиком определяются пусковым стимулом-сигналом. По мере возрастания сложности действия оно все меньше по своему смыслу зависит от сигнала, за которым сохраняется лишь пусковая роль. В самых сложных, произвольных действиях их программа и инициатива начала целиком определяются изнутри организма"[1]. На смену реактивной концепции поведения пришла концепция активности. Принципу "исходной преформированности" возбуждений, реализующих функцию, был противопоставлен принцип "микроэтапной корригируемости".

Уже И.М. Сеченов понимал, что однозначной связи между стимулом и реакцией быть не может, что реакция зависит не только от стимула, но и состояния систем, реализующих реакцию. Представление о саморегуляции, позволяющей активно достигать цель в изменчивой среде, получая сигналы об изменениях в этой среде и в собственном организме, и было развито Н.А. Бернштейном в физиологии активности.

Одним из важнейших выводов физиологии активности является то, что любой вид двигательной активности — от элементарнейших действий до цепных рабочих процессов, письма, артикуляции и т.п. — направляется и

[1] Философская энциклопедия. т. 5. (Статья "Физиология активности". С. 329.)

определяется прежде всего смыслом двигательной задачи и предвосхищением искомого результата ее решения. Пути же достижения этого результата могут быть различными. Упражнение по овладению новым двигательным навыком состоит в постепенном отыскании оптимальных двигательных приемов, ведущих к решению двигательной задачи. Правильно поставленное упражнение, по идее Н.А. Бернштейна, повторяет раз за разом не то или другое *средство решения* двигательной задачи, а *процесс решения* этой задачи, от раза к разу изменяя и совершенствуя средства. Принцип активности подчеркивает детерминацию поведения (действия) потребностью, целью, "моделью потребного будущего".

Детерминация действия "будущим" была поводом многих нападок на физиологию активности. Но это результат непонимания критиками того, что это за будущее. Конечно, будущее в буквальном смысле не может влиять на прошлое. Но *образ потребного будущего* предшествует действию. Он-то и направляет действия, сообразуясь с настоящим и вероятностным прогнозом его развития.

Н.А. Бернштейн писал: "Самым своеобразным и характерным из того, с чем сталкивается физиология при обращении к проблеме активности, является то, что очередная задача действия, сформулированная особью "изнутри" с учетом текущей ситуации, но без механической обусловленности ею, необходимым образом строится как своего рода экстраполяция будущего: целесообразно спрограммировать действие возможно только на основании определенного образа или модели того, к чему это действие должно привести и ради чего оно предпринимается. Но так как предстоящее может быть расценено или предвидено не иначе как в порядке вероятностного прогнозирования (удачный термин И.М. Фейгенберга), то ясно, что подход к анализу всех вскрывшихся здесь физиологических процессов должен основываться на теории вероятностей и ее новейших ветвях...

...Положение о вероятностном *моделировании будущего,* лежащем в основе активности всех организмов, начиная с самых низших, позволяет создать строго материалистическую трактовку таких понятий, как целесообразность или целенаправленность, находившихся до сих пор в безраздельном владении done виталисто-телеологистов"[1].

Модель будущего, направляющая действие, может осознаваться субъектом, но может протекать и на бессознательном уровне. Будучи неосознаваемыми, мотивы деятельности не перестают из-за этой неосознаваемости быть факторами, порождающими деятельность.

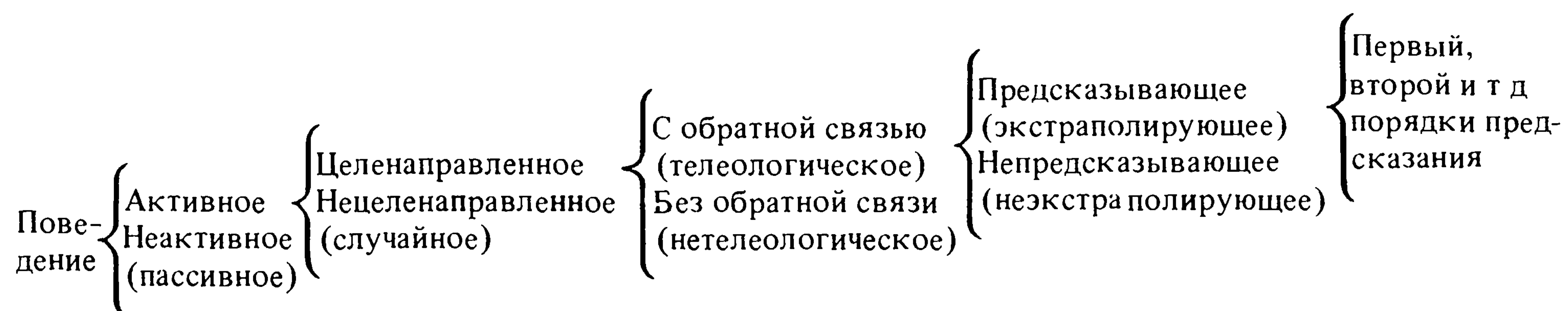
Как осуществляется мозгом это моделирование — пока остается вопросом. Устройство того внутреннего механизма, который обусловливает наблюдаемые нами явления "выхода" в связи с данными воздействиями на "входы", — пока лишь гипотеза. Здесь четко прослеживается линия, тянущаяся от И.М. Сеченова к идее "черного ящика" современной кибернетики, современным проблемам искусственного интеллекта.

От вопроса "почему?" физиология активности перешла благодаря Н.А. Бернштейну к вопросу "для чего?". Обусловленность действия целью — образом

---

[1] *Бернштейн Н.А.* Нервные линии развития в современной физиологии // Материалы конференции по методам физиологических исследований человека / Под ред. А.А. Летавета и В.С. Фарфеля. М., 1962. С. 15—21.

еще не осуществленного будущего — делает активную деятельность телеологичной. Однако эта телеологичность не имеет ничего общего с чуждым естествознанию извращением причинно-следственных отношений. Речь идет о целенаправленности действий. Такая "телеологичность" стала позже и характерной чертой кибернетики. Именно в этом смысле говорят о целенаправленности и телеологии Розенблют, Винер и Бигелоу (1943)[1]. Они предлагают следующую классификацию поведения:



"Совершая произвольное действие, — пишут они, — мы произвольно выбираем специфическую цель, а не специфическое движение". Для реализации целенаправленного поведения необходима "обратная связь": поведение управляется величиной ошибки по отношению к некоторой специфической цели. Авторы допускают, что одна из особенностей скачка, наблюдаемого при сравнении человека с другими высшими млекопитающими, заключается в том, что последние способны лишь к предсказывающему поведению низшего порядка, тогда как человек потенциально способен к весьма высоким порядкам предсказания.

В каждом научном направлении на какие-то вопросы найден ответ, какие-то вопросы поставлены и ждут разработки. Вопросы, поставленные физиологией активности, выходят далеко за границы физиологии. Особенно хочется отметить здесь вопрос о живом организме и окружающей среде. На смену идее о приспособлении организма к среде физиология активности выдвинула идею об активном воздействии организма на среду. Разработка этой интереснейшей проблемы потребует новых контактов биологии с другими науками. "Пробуждение интереса к физиологии активности, с ее трактовкой вероятностного прогнозирования и *борьбы с окружением за осуществление намеченной задачи* (подчеркнуто нами. — *О.Г.* и *И.Ф.*) приводит к попыткам осмыслять и динамическое "равновесие" организма со средой, и гомеостазис как цели активно-конфликтных состояний с окружающим миром, и поставить на службу физиологии такие ветви математики, как общая теория игр, теории конфликтов и стратегий и др., что менее всего приходило на мысль раньше"[2]. Подчеркивая, что движение — почти единственная форма жизнедеятельности, путем которой организм не просто взаимодействует со средой, но активно *воздействует* на нее, изменяя или стремясь изменить ее в потребном ему отношении, Бернштейн развивает взгляды Сеченова на всеобщую значимость движений, сформулированные последним в "Рефлексах головного мозга"[3]

[1] *Розенблют А., Винер Н., Бигелоу Дж.* Поведение, целенаправленность и телеология // Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. Изд. 2-е. М., 1968. С. 287.

[2] *Бернштейн Н.А.* Новые линии развития в современной физиологии // Материалы конференции по методам физиологических исследований человека. М., 1962. С. 21.

[3] См.: *Бернштейн Н.А.* Очерки по физиологии движений и физиологии активности". М., 1966. С. 275.

Концепция физиологии активности Н.А. Бернштейна "положила начало развитию новых принципов понимания жизнедеятельности организма"[1].

Николай Александрович интенсивно работал буквально до последнего дня своей жизни (16 января 1966 г.). И до последних дней тянулась к нему научная молодежь — а он всегда был готов помочь, направить, покритиковать — серьезно, но доброжелательно. Критика его всегда была стимулирующей, а не обезоруживающей.

Примерно за год до кончины он пригласил своих учеников к себе домой на улицу Щукина. В этот день он был активен, деятелен, напорист. Он сказал, что хочет подумать о дальнейшей работе — что надо сделать и кому именно. Следующий год он работал очень интенсивно — намного больше, чем позволяли его физические возможности. Никто не слышал от него жалоб на здоровье. И только значительно позже узнали: он собрал своих учеников не случайно. Он сам поставил себе роковой диагноз и оставшееся время энергично использовал для того, чтобы работать, чтобы обеспечить продолжение своего дела.

Вся творческая жизнь Н.А. Бернштейна связана с изучением физиологии движений. Не касаясь важности этой функции как средства активного взаимодействия с окружающей средой, способа получения информации о ней, взаимодействия с другими особями, средства добывания пищи и самосохранения, следует подчеркнуть, что даже в простейшем акте двигательного поведения центральная нервная система выступает как орган, способный *планировать* двигательные акты, превращать эти планы в необходимую "двигательную партитуру", осуществляя реализацию конкретных движений, оценивать результат и на этой основе корригировать движения, совершенствовать и развивать двигательные навыки. В осуществлении движений принимают участие почти все отделы центральной нервной системы — от спинного мозга до ассоциативных областей коры больших полушарий. Этот набор функциональных действий, функциональных качеств или функциональных блоков необходим для управления движениями, характеризующимися, как известно, огромным разнообразием; он же — этот набор функциональных блоков — может быть использован и для осуществления других функций мозга.

Двигательная функция как объект исследования имеет ряд привлекательных черт: возможность оценивать конечный результат — движение, его кинематику, динамику и энергетику. Вместе с тем этот объект чрезвычайно сложен. Н.А. Бернштейн внес очень весомый вклад в разработку этого раздела физиологии, характеризующегося высокой степенью интегративности. Физиология движения — это не только биомеханика и нервно-мышечная физиология, она тесно связана с общей биологией и психологией.

Труды Н.А. Бернштейна оказали большое влияние на развитие физиологии, психологии, биологии, кибернетики, философии естествознания. Бернштейн обладал удивительной способностью видеть перспективы развития науки, прогнозировать ее главные направления. Его труды получили признание и стали классическими как в отечественной, так и в мировой науке. Он вошел в историю науки как ученый, заложивший основы современной биомеханики

---

[1] БСЭ. 1970. Т. 3.

движений человека и теории управления движениями, как экспериментатор и мыслитель, основоположник физиологии активности.

Обстоятельства последних лет жизни Н.А. Бернштейна сложились так, что не осталось организационно (формально) единого коллектива, работавшего под его руководством. Тем не менее (и это весьма показательно) его направление продолжало и продолжает продуктивно развиваться. Продолжались исследования биомеханики спортивных движений во многих городах нашей страны. Интенсивно велись исследования нервных механизмов управления локомоцией. Изучалась структура двигательного действия. Развивались представления об образе как определяющем начале предстоящих движений. Исследовались механизмы двигательной преднастройки.

Идеи Н.А. Бернштейна оплодотворили работы в области математического и физического моделирования функций опорно-двигательного аппарата и системы управления движениями, получили выход в робототехнику, создание оптимальных конструкций протезно-ортопедических изделий.

В 1967 г. издательство „Пергамон Пресс" выпустило книгу Н.А. Бернштейна "Co-ordination and Regulation of Movements". С этого времени широкий круг зарубежных физиологов ознакомился с идеями и конкретными результатами его исследований. Они оказали, по свидетельству зарубежных ученых, большое влияние на исследования регуляции движений животных и человека, на психологию. Так, в руководстве "Двигательное поведение человека" (ред. Дж. Келсо, 1982 г.) 5-й раздел ("Степени свободы, координативные структуры, преднастройка") состоит из трех глав — Бернштейновские перспективы: I. Проблема степеней свободы и вариативности. II. Взаимодействие мышц и координативные структуры. III. Настройка координативных структур с особым вниманием к восприятию. В этих главах излагаются исследования американских лабораторий, выполненные в русле идей Н.А. Бернштейна.

В 1969 г. в США издано руководство "A Handbook of Contemporary Soviet Psychology". В нем помещен раздел "Methods of Developing Physiology as Related to the Problems of Cybernetics", написанный Н.А. Бернштейном.

В 1972 г. в книге "Mathematische Modellierung von Lebensprozessen" (Берлин) помещена в переводе на немецкий язык статья Н.А. Бернштейна "Probleme der Modellierung in der Biologie der Aktivität". В 1975 г. выходит на немецком языке книга N.A. Bernstein "Bewegungsphysiologie". Сейчас, насколько нам известно, готовятся новые издания книг Н.А. Бернштейна на английском и немецком языках.

Большое значение работ Н.А. Бернштейна для современной науки отметила и психологическая энциклопедия (The Encyclopedic Dictionary of Psychology / Ed. by R. Harrè a. R. Lamb. Oxford; Blackwell, 1983) в статьях Systems Theory и Marxist Psychology.

Работы Николая Александровича Бернштейна — не только исторический труд, но и прожектор, освещающий дальнейший путь развития науки. Широта охвата, глубина анализа, удивительная ясность мысли ставят Н.А. Бернштейна на почетное место среди классиков науки о мозге.

О.Г. Газенко,
И.М. Фейгенберг

ТРУДЫ Н.А. БЕРНШТЕЙНА

1922

1. К вопросу о восприятии величин (о роли показательной функции e^x в процессах восприятия величин) // Журн. психологии, неврологии и психиатрии. Т. 1. С. 21—54.
2. Логарифмические свойства клавиатуры музыкальных инструментов // Там же. прил. 1. С. 153—155.

1923

3. Исследования по биомеханике удара с помощью световой записи // Исслед. Центр. ин-та труда. Т. 1, вып. 1. С. 19—79.
4. Современный микроскоп // Искра. N 9. С. 12—17.

1924

5. Трудовые тренировки и условные рефлексы: Автореф. выступления на семинаре ЦИТ 9.V 1924 // Орг. труда. N 4. С. 84.
6. Изыскательная работа по натуральному эксперименту за май—июнь 1924 г. // Там же. N 5. С. 55—56.
7. Нормализация движений в ЦИТ: Тез. докл. на I Междунар. съезде НОТ в Праге // Там же. С. 77—79.
8. The normalization of motions in the Central Institute of Work // Prague Intern. menagement congr., 21—24, July, 1924.
9. Нормализация движений. 1. Задачи и принципы нормализации трудовых движений // Орг. труда. N 1. С. 37—43.
10. Нормализация движений. 2. Основы нормализации трудовых установок // Там же. N 2/3. С. 8—12.
11. Нормализация труда. 3. Нормализация рубки зубилом // Там же. N 4. С. 5—13.
12. Биомеханическая нормаль удара при одноручных ударно-режущих операциях // Исслед. ЦИТ. Т. 1, вып. 2. С. 54—119.
13. Нервная система и трудовые движения // Искра. N 3. С. 22—26.

1925

14. Центральная нервная система // Искра. N 2. С. 5—12; N 8. N 9—14.
15. Происхождение видов в технике // Там же. N 9. С. 9—13.
16. Мышечное сокращение // Хочу все знать. N 12. С. 8—9.

1926

17. Общая биомеханика: Основы учения о движениях человека. М.: РИО ВЦСПС. 416 с.
18. Биомеханика для инструкторов. М.: Новая Москва. 184 с.
19. Труд, утомление, отдых с точки зрения учения об энергии. М. 61 с.
20. Опыт обследования утомляемости студентов МИИТ // Тр. МИИТ. Вып. 3. С. 367—382. Совместно с А.И. Рудник.

1927

21. Практикум по экспериментальной психологии / Под ред. К.Н. Корнилова. М.; Л. Совместно с В.А. Артемовым, Л.С. Выготским, Н.Ф. Добрыниным и А.Р. Лурия.
22. Рецепторный момент реакции // Практикум по экспериментальной психологии / Под. ред. К.Н. Корнилова. М.; Л. С. 44—58.

23. Обработка результатов массовых психологических измерений // Там же. С. 154—172.
24. Биомеханика // БСЭ. 1-е изд. Т. 6. С. 345—348.
25. Kymozyclographion, ein neuer Apparat für Bewegungsstudium // Pflügers Arch. gesamte Physiol. Menschen und Tiere. Bd. 217, H. 5/6. S. 783—793.
26. Исследование по биодинамике ходьбы и бега // Вопросы динамики мостов: (Сб. Отд. инж. иссл. НК путей сообщения). М. Вып. 63. С. 51—76.
27. Новое в методике изучения рабочих движений // Психофизиология труда / Под ред. К.Х. Кекчеева, В.И. Рабиновича. М.; Л. Т. 2. С. 70—81.
28. Analyse aperiodischer trigonomertischer Reihen // Ztschr. angew. Math. und Mech. Bd. 7. S. 476—485.

1928

29. Die Kymozyclographische Methode der Bewegungsuntersuchung // Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden / Hrsg. E. Abderhalden. B.; Wien. Bd. 5, T. 5a. S. 629—680.
30. К методике измерения тонуса поперечнополосатой мускулатуры у человека // Тр. Третьего Всесоюз. съезда физиологов (28 мая—2 июня) в Москве. М. Т. 1/2. С. 137. Совместно с Н.К. Верещагиным.
31. Проект переустройства рабочего места вагоновожатого московского трамвая // Рабочие трамвая / Под ред. И. Шпильрейна. М. С. 230—234.
32. Абсолютный слух // БМЭ. Т. 1. С. 64—65.
33. Биомеханика // БМЭ. Т. 3. С. 456—463.

1929

34. Клинические пути современной биомеханики // Сборник трудов Гос. ин-та усовершенствования врачей им. В.И. Ленина в Казани. Казань. Т. 1. С. 249—270.
35. Проект переустройства рабочего места московского вагоновожатого: (2-я редакция проекта) // Психотехника и психофизиология труда. Т. 2, N 1. С. 21—30.
36. Untersuchung über die Biodynamik des Klavieranschlagers // Arbeitsphysiologie. Ztschr. Physiol. Menschen Arbeit und Sport. Bd. 1, H. 5. S. 396—432. Совместно с Т.С. Поповой.
37. Движения // БМЭ. Т. 8. С. 451—474.

1930

38. Координация движений // БМЭ. Т. 13. С. 755—757.
39. Исследования по биодинамике фортепианного удара // Сборник работ фортепианно-методологической секции Гос. ин-та музыкальной науки. М.: Музгиз. Вып. 1. С. 5—47. Совместно с Т.С. Поповой.
40. Современная биомеханика и вопросы охраны труда // Гигиена, безопасность и патология труда. N 2. С. 3—12.
41. Новый метод зеркальной циклосъемки и его применение к изучению рабочих движений на станках // Там же. N 5. С. 3—9; N 6. С. 3—11.
42. Untersuchung der Körperbewegungen und Körperstellung im Raum mittels Spiegelaufnahmen // Arbeitsphysiologie. Ztschr. Physiol. Menschen Arbeit und Sport. Bd. 3, H. 3. S. 179—206.
43. Поведение человека и астрономическая точность // Хочу все знать. N 21. С. 612—614.
44. Труды и материалы Укр. гос. ин-та патологии и гигиены труда, вып. 8: (Критический обзор) // Гигиена, безопасность и патология труда. N 10. С. 124—128.
45. Современный биомеханический метод и вопросы изучения утомления // Четвертый Всесоюз. съезд физиологов в Харькове. Харьков: Научная мысль. С. 30—31.

1931

46. Основные механические явления в мышце, методы их регистрации и изображения // БМЭ. Т. 19. С. 440—455.
47. Биомеханика мышечной системы человека // Там же. С. 381—405.
48. Опыт оценки статической нагрузки при держании и переноске тяжестей женщинами // Женский труд. М. С. 177—190 (Тр. Гос. науч. ин-та охраны труда; Т. 4, вып. 1).

1933

49. Ein "Zeitokular" zu der "Zeitlupe": (Neuer Kinoprojektor für die verlangsamte Projektion) // Arbeitsphysiologie. Ztschr. Physiol. Menschen Arbeit und Sport. Bd. 6, H. 4. S. 376—379.
50. Планиметрия // БМЭ. Т. 25. С. 292—295.

1934

51. Равновесие тела // БМЭ. Т. 28. С. 148—154.
52. Пространственное чувство // Там же. Т. 27. С. 383—386.
53. Техника изучения движений: Практическое руководство по циклограмметрии. М.; Л. 560 с. Совместно с Т.С. Поповой и З.В. Могилянской.
54. Введение // Техника изучения движений. С. 3—9.
55. Основные пути и методы фото-изучения движений // Там же. С. 10—49.
56. Общая техника цикло-съемки // Там же. С. 50—117.
57. Тематика лаборатории физиологии движения за 1934 г. // Бюл. Моск. фил. ВИЭМ. N 1/2. С. 20—21.
58. Научные конференции лаборатории физиологии движения // Там же. С. 25.
59. Приложения к гл. 9: а) Преобразование номограммы "XX", позволяющее осуществить поворот координационных осей и перенос начала координат; б) включение в номограмму "XX" шкалы для расчета у; в) исправление формы номограммы "XX" и "номограммы с поворотом" с целью увеличения точности отсчетов // Техника изучения движений. С. 471—495.
60. Таблицы для расчета координат, скоростей и ускорений центров тяжести систем. Таблицы для определения координат центра тяжести всего тела // Там же. С. 496—528.
61. Физиология движений // Конради Г.П., Слоним А.Д., Фарфель В.С. Физиология труда. М.; Л.: Биомедгиз. С. 366—450.

1935

62. Проблема взаимоотношений координации и локализации // Арх. биол. наук. Т. 38, вып. 1. С. 1—34.
63. Ходьба // БСЭ. Т. 59. С. 828—831. Совместно с Н.А. Бункиным.
64. Исследования по биодинамике локомоций / Под ред. Н.А. Бернштейна. Кн. 1. Биодинамика ходьбы нормального взрослого мужчины. М.; Л.: ВИЭМ. 244 с.
65. Исторический очерк биодинамических исследований ходьбы // Исследования по биодинамике локомоций. М.; Л. Кн. 1. С. 5—13.
66. Экспериментальные исследования нормальной негруженой ходьбы мужчины // Там же. С. 30—122.
67. Исследования по физиологии и патологии движений // Тез. сообщ. XV Междунар. физиол. конгр., 9—17 авг. 1935 г. М.; Л.: Биомедгиз. С. 33—35.

1936

68. Циклография // БМЭ. Т. 34. С. 440—445.
69. Хронофотография // Там же. С. 383.
70. Центр тяжести // Там же. С. 410.
71. Исследования по физиологии и патологии движения // Физиол. журн. СССР им. И.М. Сеченова. Т. 31, N 5/6. С. 1017—1019.

1937

72. Исследования нормальной и патологической локомоторики: (Автореферат) // Проблемы моторики в неврологии и психиатрии. Киев: Госмедиздат УССР. С. 61—63. (Тр. Центр. психоневрол. ин-та).
73. Биодинамический анализ бега мастеров спорта // Третья итоговая конференция ЦНИИФК. М. С. 11—12.
74. Некоторые данные по биодинамике бега выдающихся мастеров спорта. 1. Опорная динамика бега // Теория и практика физ. культуры. N 3. С. 250—261.
75. Некоторые данные по биодинамике бега выдающихся мастеров спорта. 2. Динамика ноги при беге // Там же. N 4. С. 328—341.
76. Координация движений // БСЭ. Т. 34. С. 226.
77. Ответ Г.Г. Егорову [О технике спринтерского бега маховым стилем] // Теория и практика физ. культуры. N 7. С. 684.

1939

78. Особенности биодинамики спринта // Теория и практика физ. культуры. N 3. С. 60—64.
79. Современные данные о структуре нервно-двигательного процесса // Музыканту-педагогу. М.: Музгиз. С. 207—231.

1940

80. О построении движений и их систематизации по невро-физиологическому признаку // Теория и практика физ. культуры. N 5. С. 50—52.
81. Исследования по биодинамике ходьбы, бега, прыжка / Под ред. Н.А. Бернштейна. М.: Физкультура и спорт. 312 с.
82. Биодинамика локомоций (генез, структура, изменения) // Исследования по биодинамике ходьбы, бега, прыжка. М.: Физкультура и спорт. С. 9—47. (ЦНИИ физкультуры. Тр. лаб. по изуч. движений; Вып. 3).
83. Исследование биодинамики бега выдающихся мастеров спорта // Там же. С. 131—223.
84. Зависимость между скоростью, углом вылета, силой толчка и длительностью полета при прыжках в длину с разбега // Там же. С. 284—288.
85. Сравнительный анализ биодинамики учебного и торжественного шага разных видов // Там же. С. 289—309.

1945

86. К вопросу о природе и динамике координационной функции // Психология: Движение и деятельность. М. С. 22—90. (Учен. зап. МГУ; Вып. 90).
87. Назревшие вопросы современной нервной физиологии // Физиол. журн. СССР им. И.М. Сеченова. Т. 31. N 5/6. С. 298—311.

1946

88. К вопросу о расчете беговых дорожек // Теория и практика физ. культуры. Т. 9, вып. 10. С. 473—481.
89. Проблема восстановления и компенсации в свете современной теории координации // Тез. докл. и выступлений 1-й науч. сес. Ин-та неврологии АМН СССР. М. С. 47.
90. Физиология человека. М.: Физкультура и спорт. 400 с. Совместно с А.Н. Крестовниковым и М.Е. Маршаком.
91. Значение анализа биоэлектрических потенциалов мозга и мышц для теории построения движений // Ин-т неврологии АМН СССР. N 2. С. 13—15.

1947

92. К вопросу о структурном анализе биоэлектрических кривых: (По поводу статьи Л. Слепяна "Частотный анализ биоэлектрических процессов" в Трудах Ин-та физиологии им. И.С. Бериташвили, т. VI, 1945) // Физиол. журн. СССР им. И.М. Сеченова. Т. 33, N 2. С. 259—263. Совместно с М.Н. Ливановым.
93. Современные проблемы взаимоотношений между электрическими и механическими процессами в мышечной системе // Тез. докл. и выступлений 2-й науч. конф. Ин-та неврологии АМН СССР, 29.I—3.II 1947. М. С. 19—21.
94. Биодинамические закономерности стартовых движений // Сес. посвящ. итогам науч.-исслед. работы Ин-та (ГНИИФК) за 1947 г.: Тез. докл. и автореф. М. С. 9—11.
95. Биодинамика стартовых движений. Сообщ. 1. Основные биомеханические закономерности стартовых движений // Теория и практика физ. Т. 10, вып. 8. С. 357—372.
96. О построении движений, их восстановлении и компенсациях // Психология: Вопросы восстановления психофизиологических функций. М. Т. 2. С. 48—57. (Учен. зап. МГУ; Вып. 111).
97. Координация движений в онтогенезе // Учен. зап. Гос. центр. ин-та физкультуры. Вып. 2. М.: Физкультура и спорт. С. 3—52.
98. Советская физиология движений и ее приложение к области физической культуры и спорта // Юбил. сес. науч.-метод. совета, посвящ. 30-летию Великой Октябрьской социалистической революции: Тез. докл. М.; Л. С. 30—33.
99. О построении движений. М.: Медгиз. 255 с.

1948

100. К вопросу об автоматизмах и деавтоматизации двигательных актов // Третья объед. науч. конф., посвящ. пробл. строения и деятельности коры головного мозга. М. С. 20—22.
101. К биодинамической теории построения протезов нижних конечностей // Тр. МНИИП. N 1. С. 5—12.
102. Анализ некоторых пространственных движений руки и предложения по конструкции рабочего протеза // Там же. С. 13—24. Совместно с О.А. Зальцгебер.

1949

103. Исследование спринтерского бега на 100 метров // Сес., посвящ. итогам науч.-исслед. работы ин-та (ЦНИИФК) за 1948 г.: Тез. докл. и автореф. М. С. 49—50.

1954

104. Координационные нарушения и восстановление биодинамики ходьбы после поражений головного мозга сосудистой этиологии // Тез. докл. 7-й науч. сес. Ин-та неврологии АМН СССР. М. С. 28—30. Совместно с Г.Р. Буравцевой.

1955

105. Анализ локомоторных расстройств и динамики их восстановления при органических спастико-паретических синдромах // Аннотации научных работ АМН СССР за 1954 г. М. С. 232—233. Совместно с Г.Р. Буравцевой.

1956

106. Проблемы и примеры биологического регулирования Р. Вагнера: (Крит. рец.) // Новые кн. за рубежом. N 9. С. 3—8.

1957

107. О книге Гр. Уолтера "Мозг и его жизнедеятельность": (Крит. рец.) // Вопр. психологии. N 3. С. 136—142.
108. Некоторые назревающие проблемы регуляции двигательных актов // Там же. N 6. С. 70—90.

1958

109. Модели как средство изучения нервно-двигательных процессов // Докл. Акад. пед. наук РСФСР. N 2. С. 89—94.

1959

110. Вы согнули руку // Знание — сила. N 2. С. 46—49.

1960

11. Исторические истоки кибернетики и перспективы применения ее в медицине: (Предисловие) // Моисеев В.Д. Вопросы кибернетики в биологии и медицине / Под ред. и с предисл. Н.А. Бернштейна. М.: Медгиз. С. 3—24.
112. Биомеханика // Физ. энцикл. слов. Т. 1. С. 189—190.

1961

113. Пути и задачи физиологии активности // Вопр. философии. N 6. С. 77—92.
114. В просторах космического океана // Правда Украины. 18 апр.
115. Если бы вместе с Гагариным // Молодой колхозник. N 5. С. 3—4.
116. Очередные проблемы физиологии активности // Проблемы кибернетики. М. Вып. 6. С. 101—160.

1962

117. Новые линии развития в современной физиологии // Материалы конф. по методам физиол. исслед. человека / Под ред. А.А. Летавета, В.С. Фарфеля. М. С. 15—21.
118. Новые линии развития в физиологии и их соотношение с кибернетикой. М. 44 с.
119. Новые линии развития в физиологии и их соотношение с кибернетикой // Вопр. философии. N 8. С. 78—87.
120. Пути развития физиологии и связанные с ними задачи кибернетики // Биологические аспекты кибернетики: Сб. работ. М.: Изд-во АН СССР. С. 52—65.
121. К анализу непериодических колебательных сумм с переменными спектрами по методу взвешенных решеток // Биофизика. Т. 7, вып. 4. С. 377—381.
122. Равновесие тела // БМЭ. 2-е изд. Т. 27. С. 684—687.

1963

123. Предисловие // Напалков А.В., Чичварина Н.А. Мозг и кибернетика. М.: Знание. С. 3—7.
124. Биологические прототипы и синтетические модели, т. 1: (Рецензия) // Новые кн. за рубежом. Сер. В, Техника. N 5. С. 38—41.
125. Био-телеметрия: Применение телеметрии к изучению поведения животных, их физиологии и экологии: (Рецензия) // Там же. N 12. С. 3—8.
126. Тонус // БМЭ. 2-е изд. Т. 32. С. 418—422. Совместно с Я.М. Коцем.
127. Предисловие к русскому изданию // Моделирование в биологии. М. С. 5—17.
128. Новые линии развития в физиологии и их соотношение с кибернетикой // Философские вопросы физиологии высшей нервной деятельности и психологии. М.: Изд-во АН СССР. С. 299—322.

1964

129. К очерку К.Э. Циолковского "Механика в биологии" // Циолковский К.Э. Собр. соч. М.: Наука. Т. 4. Естествознание и техника. С. 454—458.
130. Предисловие // Тринчер К.С. Биология и информация. М.: Наука. С. 5—14.
131. Проблема функциональной организации мозга человека в свете данных современной экспериментальной и клинической нейрофизиологии // X съезд Всесоюз. физиол. о-ва им. И.П. Павлова: Реф. докл. М.; Л. Т. 1. С. 122—123. Совместно с Ф.В. Бассиным и Л.П. Латашом.
132. Ходьба // БМЭ. 2-е изд. Т. 34. С. 33—34.
133. Циклография // Там же. С. 396—398. Совместно с А.А. Стуколовым.
134. Хронофотография // Там же. С. 282—286. Совместно с А.А. Стуколовым.
135. О перспективах математики в биокибернетике: (Предисловие) // Черныш В.И., Напалков А.В. Математический аппарат биологической кибернетики. М.: Медицина. С. 3—30.
136. Кое-что о письме и о почерке // Наука и жизнь. N 7. С. 113—120.
137. Башня Эйфеля // Там же. N 9. С. 33—39.
138. Формула рекорда: Беседа // Ком. правда. 10 окт.

1965

139. На путях к биологии активности // Вопр. философии. N 10. С. 65—78.
140. Миражи // Наука и жизнь. N 1. С. 97—104.
141. Смерть от страха ожидания смерти // Там же. N 2. С. 149.
142. Как был построен Сызранский мост через Волгу // Там же. N 5. С. 146.
143. Предисловие // Чхаидзе Л.В. Координация произвольных движений человека в условиях космического полета. М.: Наука. С. 5—19.
144. Предисловие к русскому изданию // Биотелеметрия (пер. с англ.) / Под ред. и с предисл. Н.А. Бернштейна. М.: Мир. С. 5—10.

1966

145. Крушение Тэйского моста // Наука и жизнь. N 2. С. 151—155.
146. Очередные задачи нейрофизиологии в свете современной теории биологической активности // Кибернетические аспекты интегральной деятельности мозга: XVIII Междунар. психол. конгр. М. Симпоз. 2. С. 112—118.
147. The immediate tasks of neuro-physiology in the light of the modern theory of biological activity // Cybernetic aspects of integrative brain activities: XVIII Intern. congr. of psychol. Moscow. Symp. 2. p. 119—125.
148. Проблемы моделирования в биологии активности: Мат. моделирование жизн. процессов. М.: Наука. С. 17—31.
149. От рефлекса к модели будущего // Неделя. N 20.
150. Очередные задачи нейрофизиологии в свете современной теории биологической активности. (Докл. представл. на XVIII Междунар. психол. конгр. 1966 г.) // Вопр. психологии. N 4. С. 3—7.
151. К проблеме связи между структурой и функциями мозга в ее современном понимании // Физиология в клинической практике. М.: Наука. С. 38—71. Совместно с Ф.В. Бассиным и Л.П. Латашом.
152. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина. 349 с.

1967

153. Биокибернетика и биология активности: (Управление и управляемость в мире живого) // Проблемы моделирования психической деятельности. Новосибирск. С. 206—216. Совместно с Е.С. Геллером и В.Н. Свинцицким.
154. The co-ordination and regulation of movements. Oxford etc: Pergamon press. 196 p.

1968

155. Проблемы моделирования в биологии активности // Математическое моделирование жизненных процессов. М. С. 184—197.
156. Предисловие // Чхаидзе Л.В. Координация произвольных движений человека в условиях космического полета. 2-е изд. испр. и доп. М.: Наука. С. 7—20.
157. О происхождении движений // Наука и жизнь. N 2. С. 76—82; N 3. С. 65—68; N 5. С. 62—67; N 6. С. 88—95; N 7. С. 53—59 и вкладка после с. 96.

1969

158. Methods for developing physiology as related to the problems of cybernetics // A handbook of contemporary Soviet psychology. N.Y.; L.: Basic books. P. 441—451.

1972

159. Probleme der Modellierung in der Biologie der Activität // Mathematische Modellierung von Lebensprozessen. B.S. 163—173.

1975

160. Bewegungsphysiologie / Hrsg. L. Pickenhein, G. Schnabel. Leipzig: Barth. 260 S.

1978

161. Из записных книжек // Вестн. МГУ. Сер. 14, Психология. N 4. С. 64—67.

1983

162. Проект переустройства рабочего места московского вагоновожатого на биомеханических основаниях // История советской психологии труда: Тексты (20—30-е годы XX в.) / Под ред. В.П. Зинченко и др. М.: Изд-во МГУ. С. 278—282.
163. Современная биомеханика и вопросы охраны труда // Там же. С. 71—76.

1984

164. Human motor action: Bernstein reassessed / Ed. H.T.A. Whiting. Amsterdam etc.: North-Holland. 633 p.

1988

165. Bewegungsphysiologie. 2. durchgesehene und erweiterte Auflage / Hrsg. L. Pickenhein u. G. Schnabel. Leipzig: Barth. 272 S.

1990

166. О ловкости и ее развитии. М.: Физкультура и спорт (в печати).

ЛИТЕРАТУРА О Н.А. БЕРНШТЕЙНЕ

Бассин Ф.В. О подлинном значении нейрофизиологических концепций Н.А. Бернштейна // Вопр. философии. 1967. N 11. С. 69—79.

Геллерштейн С.Г., Новиков А.Д., Озолин Н.Г. "О построении движений" Н.А. Бернштейна: (Рецензия) // Теория и практика физ. культуры. 1948. Вып. 14. С. 89—92.

Гращенков Н.И., Лурия А.Р. (Рецензия) // Сов. кн. 1947. Вып. 12. С. 42—47. — Рец. на кн.: Бернштейн Н.А. О построении движений. М.: Медгиз, 1947. 255 с.

Гургенидзе Г.С. Физиология активности // Филос. энциклопедия. М., 1967. Т. 5. С. 129.

Гургенидзе Г.С. Бернштейн Николай Александрович // БСЭ. 3-е изд. Т. 3. С. 756—757.

Демидов В.Е. Споры по существу // Пути в незнаемое. М., 1986. Вып. 20. С. 30—74.

Зациорский В.М. Возвращение к истине (После десятка лет забвения к нам возвращаются имена и труды замечательных людей) // Легкая атлетика. 1990. N 2. С. 14—15.

Зинченко В.П., Лебединский В.В. Выготский Л.С. и Н.А. Бернштейн: сходные черты мировоззрения // Научное творчество Л.С. Выготского и современная психология. М., 1981. С. 64—68.

Лауреат Сталинской премии // Теория и практика физ. культуры. 1948. Вып. 7. С. 296.

Лебединский В.В. О научном творчестве выдающегося советского ученого Н.А. Бернштейна // Вопр. философии. 1967. N 6. С. 144—149.

Лурия А.Р. Жизнь, отданная науке // Там же. 1966. N 9. С. 134—140. — Рец. на кн.: Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина, 1966. 349 с.

Найдин В.Л. Чудо, которое всегда с тобой // Наука и жизнь. 1976. N 4. С. 106—111; N 5. С. 97—103; N 6. С. 68—73.

Николай Александрович Бернштейн: (Некролог) // Вопр. философии. 1966. N 3. С. 182.

Памяти Н.А. Бернштейна // Модели структурно-функциональной организации некоторых биологических систем: Сб. ст., посвящ. памяти Н.А. Бернштейна / Под ред. И.М. Гельфанда. М.: Наука, 1966. С. 3—6.

Парин В., Геллер Е., Малиновский А., Свинцицкий В. Кибернетика в биологии и медицине // Коммунист. 1968. N 1. С. 69—79.

Ухтомский А.А. // Собр. соч. Л.: Изд-во ЛГУ, 1951. Т. 3. С. 153—161.

Фейгенберг И.М. [О Н.А. Бернштейне] // Наука и жизнь. 1968. N 2. С. 78—79.

Фейгенберг И.М. [О Н.А. Бернштейне] // Вестн. МГУ. Сер. 14, Психология. 1978. N 4. С. 64—67.

Фейгенберг И.М. Сеченов и физиология активности Н.А. Бернштейна // Иван Михайлович Сеченов: К 150-летию со дня рождения. М.: Наука. 1980. С. 527—534.

Чхаидзе Л.В., Чумаков С.В. Формула шага. М.: Физкультура и спорт, 1972. 113 с.

Boylls C.C., Greene P.H. Bernstein's significance today // Human motor action: Bernstein reassessed. Amsterdam etc.: North-Holland, 1984. P. XIX—XXXV.

Marxist psychology // The encyclopedic dictionary of psychology / Ed. R. Harre, R. Lamb. Oxford: Blackwell, 1983. P. 367.

Systems theory // Ibid. P. 625.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ[1]

Андреев Л. 292
Анохин П.К. 89, 282, 388, 398, 434
Артемов В.А. 480
Архит Тарентский 405
Аршавский И.А. 152
Асратян Э.А. 89, 246, 398

Бабаева Е. 205
Бассин Ф.В. 247, 469, 485, 487
Белл Ч. (Bell C.) 118, 406, 468
Бергер (Berger) 61, 67
Бернштейн А.Н. 465
Бернштейн Н.О. 465
Бехтерев В.М. 304, 377, 435
Бигелоу Дж. 477
Биша 433
Блонский П.П. 312, 313
Бор 409, 432
Борелли (Borelli) 248, 393
Бриль Л. 232, 234
Бродбент 471
Бружес А.П. 257
Брэм 108
Буль 436
Булыгин И.А. 246
Бункин Н.А. 482
Буравцева Г.Р. 484
Быховская Г.Х. 148, 304
Бэте (Bethe) 65, 89, 118—120, 279, 398, 471

Вагнер Р. (Wagner R.) 337, 385, 390, 484
Варшавский В.И. 440
Введенский Н.Е. 50, 51, 368, 411, 463
Верещагин Н.К. 481
Винер Н.(Wiener N.) 368, 370, 428, 477
Леонардо да Винчи 248, 399, 405
Вирхов 433
Вокансон 399
Воронин А.Г. 246
Воронцова И.П. 440
Выготский Л.С. 474, 480, 487

Гагарин Ю.А. 484
Газенко О.Г. 259, 479
Галлер 471
Галль (Hall) 180, 471
Гарвей 399
Гастев А.К. 465
Геккель (Haeckel) 142, 297
Геллер Е.С. 486, 487
Геллерштейн С.Г. 123, 179, 487
Гельмгольц (Helmholtz) 248, 293, 294, 406
Гельфанд И.М. 425, 440, 444, 446, 460, 487
Герц Г. 450, 451
Гиляровский В.А. 465
Гипп 248
Гитциг (Hitzig) 280, 471
Гоголь 417
Гольдштейн К. (Goldstein K.) 11, 273, 457
Гольтц 472
Горшков А.А. 60, 306
Грабарь И. 116
Гращенков Н.И. 487
Грдынь Г. 257
Грюнбаум (Grunbaum) 148, 304
Гуревич М.О. 11, 67, 142, 148, 150—152, 156, 160, 162, 273, 297, 304, 307, 309, 311, 316, 319, 325
Гургенидзе Г.С. 475, 487
Гурфинкель В.С. 391, 402, 440, 460
Гурьянов Е.В. 203, 322
Гусева А.А. 60, 306

Дамон 136
Дарвин 453
Девишвили В. 259
Декарт 399
Демидов В.Е. 487
Добрынин Н.Ф. 480
Долин А.О. 246
Дриллис (Drillis) 258, 262, 265
Дюбуа-Раймон (du Bois-Reymond) 142, 465

[1] Составлен профессором И.М. Фейгенбергом.

Примечание. Фамилии в русской или иностранной транскрипции с инициалами или без них приведены по оригиналу.

Егоров Г.Г. 482
Ерофеева М.Н. 379

Зальцгебер О.А. 79, 265, 361, 483
Занд 136
Зациорский В.М. 487
Зимкина А.М. 246
Зинченко В.П. 486, 487
Зубков А.А. 246

Каганов В.М. 246
Канова 403
Кекчеев К.Х. 234, 257, 465, 481
Келсо Дж. 479
Кемпелен, фон 292
Кене (Кенэ) 393, 399
Кеплер 451
Клейн, де (Klejn, de) 59, 306, 371
Клейст (Kleist) 129, 130, 153, 315, 330
Клини 457
Кобринский А.Е. 402
Конради Г.П. 295, 467, 482
Коперник 409, 451
Корде Ш. 136
Корнилов К.Н. 480
Корсаков С.С. 435, 471
Коц Я.М. 484
Крестовников А.Н. 246, 483
Кулагин О. 420

Лаврентьев В.И. 264
Лавуазье 451
Ламарк 20
Ламетри 393
Латаш Л.П. 247, 485
Лебедев П.Н. 450
Лебединский В.В. 247, 487
Лейтон (Leyton) 148, 304
Ленин В.И. 377
Леонтьев А.Н. 42
Лесгафт П.Ф. 257
Лесков Н.С. 226
Летавет А.А. 476, 484
Лехтман Я.Б. 246
Лешли (Lashley) 148, 273, 279, 287, 304, 428
Ливанов М.Н. 63, 390, 483
Ломоносов М.В. 451
Лоренц 409
Лурия А.Р. 129—131, 133, 137, 201, 213, 225, 227, 322, 330, 480, 487
Людвиг К. 248, 465
Лядумег Ж. (Ladouméque J) 32, 33, 98, 186, 188—190, 356, 357, 365

Магнус (Magnus) 59, 273, 306, 311, 371
Мак Каллох 457
Максвелл 451, 454, 464
Малиновский А.А 487
Марей Э. (Marey E.) 65, 249—252, 256, 260, 338
Маршак М.Е. 327, 483
Мейнерт (Meynert) 151, 164, 310, 471
Менделеев Д.И. 292
Могилянская З.В. 248, 260, 265, 482
Моисеев В.Д. 392, 484
Мунк (Munk) 280, 471
Муравьев В. 259

Найдин В.Л. 487
Напалков А.В. 458, 485
Новиков А.Д. 487
Ньютон 409

Озерецкий Н. 105, 325
Озолин Н.Г. 487
Орбели Л.А. 11
Осипов Л. 62, 103, 188, 205

Павлов И.П. 164, 165, 287, 375, 377, 379, 411, 435, 456, 457, 463—465, 471
Парин В. 487
Питтс 457
Пифагор 431
Планк 432
По Э. 417
Попов А.С. 451
Попова Т.С. 156, 157, 159, 183, 186, 190, 198, 248, 260, 261, 265, 271, 316, 317, 347—350, 352, 353, 357, 481, 482
Птолемей 409, 451
Пятецкий-Шапиро И. 460

Рябинович В.И. 481
Рафаэль 403
Розенблют А (Rosenbluth) 383, 477
Рудник А.И. 480
Рцхиладзе 100

Садчиков Н. 99, 229
Свинцицкий В.Н. 486, 487
Сеченов И.М. 54, 257, 375, 400, 411, 412, 437, 463—465, 468—472, 475—477, 487
Славуцкий Я.Л. 257, 259
Слепян Л. 483
Слоним А.Д. 295, 467, 482
Смолуховский М. 448
Сперанский А.Д. 377, 398
Спицин С. 66
Стуколов А.А. 256, 266, 485

Таунсенд 260
Тихо де Браге 451
Тихонов Н.П. 257
Толстой А.Н. 228
Толстой Л.Н. 192
Тревитик 407
Тринчер К.С. 453, 485

Уатт (Watt) 385, 464
Укран М. 32
Уолтер Гр. (Walter) 390, 407, 408, 440, 484
Успенский Л. 420
Уфлянд А.А. 311
Ухтомский А.А. 60, 270, 306, 411, 441, 463, 466, 468, 469, 475, 487

Фалес 431
Фарадей 451, 465
Фарфель В.С. 39, 162, 295, 323, 467, 476, 482, 484
Федосеев П.Н. 246
Фейгенберг И.М. 8, 476, 479, 487
Фишер О (Fisher) 251, 252, 254—256, 258, 260, 264, 337—339, 363, 466
Флексиг 471
Флуранс 428, 471, 472
Франчини 399
Фритш 471

Цетлин М.Л. 425, 440, 444, 446, 460
Циолковский К.Э. 257, 485

Черниговский В.Н. 246, 485
Черныш В.И. 458
Чистяков П.П. 116
Чичварина Н.А. 485
Чуковский К.И. 228, 229
Чумаков С.В. 487
Чхаидзе Л.В. 257, 259, 391, 485—487

Шевес А. 101
Шеррингтон (Sherrington) 11, 15, 22, 49, 54, 57, 59—61, 148, 270, 304, 306, 465
Шик М.Л. 460
Школьник-Яросс Е. 131
Шорохова Е.В. 246
Шпильберг П.И. 246, 357
Шпильрейн И.Н. 481
Шредингер (Schrödinger) 294, 409
Шустин Н.А. 246,

Эдисон 406
Эдриан (Adrian) 61, 306, 368
Эйнштейн А. 409, 432, 448, 451
Эрстед 451
Эттли 409

Юкава 409

Яловый А.А. 257, 262
Яровой И.Н. 259
Ярошевский М.Г. 464

Abderhalden E. 481
Abraham 294
Adler 283
Adrian 61, 306, 368
Alt 294
Anshutz 249

Baldwin 161, 323
Barron 54, 63
Bell C. 118, 406, 468
Berger 61, 67
Berze 283
Bethe 65, 89, 118—120, 279, 398, 471
Bianchi 273
Bleuler 283
Borelli 248, 393
Boylls C C. 487
Braun 161
Braune 251, 252, 254—256, 258, 264, 323, 338, 363
Brentano 294
Briscoe 60, 306
Brodmann 82, 96
Broglie, de 294
Brown G 11, 96, 175, 273
Buddle-Foldating 294
Bull 250, 260

Demeny 252
Dirac 294
Dix 323
Drillis 258, 262, 265
Du Bois-Reymond 142, 465
Dupré 273

Economo 19, 151, 311
Edinger 142, 297
Ewald 293

Fisher O. 251, 252, 254—256, 258, 260, 264, 337—339, 363
Flatau E. 70
Foerster O. 11, 94—96, 110, 111, 151, 158, 212, 213, 273, 280, 310, 314, 317
Foix 148, 307, 309
Frémont 256
Freud 151, 310
Fulton 61

Gastine 260
Gilbreth F. 256, 258, 260
Gilbreth L. 258
Goldstein K. 11, 273, 457
Greene P.H. 487
Grey 293, 294
Grünbaum 148, 304

Haeckel 142, 297
Hall 180, 471
Harles 258
Harré R. 479, 487
Heisenberg 294
Helmholtz 248, 293, 294, 406
Hering 293
Hermann 294

Hitzig 280, 471
Homburger 273

Jackson H. 11, 97, 109, 130
Jacob 96
James 80

Kappers A. 146, 302
Keller H. 84
Kilvington 89
Kleist 129, 130, 153, 315, 330
Klejn, de 59, 306, 371
Köler 294
Kornmüller 61
Krause 94
Kries, von 294
Kuhlmann 312

Ladouméguе J. 32, 33, 98, 186, 188—190, 356, 357, 365
Lamb R. 479, 487
Lange 80
Lapicque L. 49, 53, 54, 58, 59, 306, 368, 370, 427, 441
Lapicque M. 53, 58, 59
Lashley 148, 273, 279, 287, 304, 428
Lewy 273
Leyton 148, 304
Lipmann 109
Lindhard 11
Lumiére 250

Magendie 118
Magnus 59, 273, 306, 311, 371
Marey E. 65, 249—252, 256, 260, 338
Matthews 54, 63
Meynert 151, 164, 310, 471
Minkowsky 142, 298
Mittelstaedt 392
Mohr L. 79, 94
Monakow 11, 19, 69, 79, 82, 141, 273, 303
Munk 280, 471
Muvbridge 249

Nicolesco 307, 309
Nothnagel 109

Osborne 89

Peiper 151, 311
Pickenhein L. 486

Rademaker 59, 306
Réwész 294
Rohracher 61
Rose 142, 297
Rosenbluth 383, 477

Semon 125, 281
Schnabel G. 486
Schrödinger 294, 409
Shaltenbrand 153, 313
Sherrington 11, 15, 22, 49, 54, 57, 59—61, 270, 304, 306, 465
Shilder 96, 335, 368, 441
Spatz 142, 144, 146, 151, 297, 298, 302, 310
Staehelin R. 79, 94
Stier 161, 323

Thorndike 178
Thun 256, 260
Townsend 256
Trendelenburg 279

Uexküll 14, 59, 83

Veraguth 142, 150—152, 155, 297, 310, 311, 315, 316
Vogt C. 96, 146
Vogt O. 96, 111, 146, 302

Wachholder 11
Waetzmann 294
Wagner R. 337, 385, 390, 484
Walsh 61
Walter 390, 407, 408, 440, 484
Watt 385, 464
Weber E. 248
Weber W. 248
Weiss 368, 370, 428
Wiener N. 368, 370, 428, 477
Whiting H. 464, 486

NAUKA PUBLISHERS, MOSCOW, 1990

BERNSTEIN N.A.
PHYSIOLOGY OF MOVEMENT AND ACTIVITY
(SCIENCE CLASSICS)

Nikolay Alexandrovich Bernshtein (1896—1966) is an outstanding versatile scientist: a biomechanician, physiologist, psychologist. He was a founder of a new branch in the world'es physiology— physiology of activity which is increasingly called psychological physiology. Physiology of activity is a conceptual development of an original branch of the national science connected weth the names of I.M. Sechenov, N.E. Vvedensky, A.A. Ukhtomsky. In 1932 the latter compared the methods of microanalysis of movement, developed by N.A. Bernshtein, to the microscope invention.

The present volume comprises two basic works by N.A. Bernshtein "On Structure of Movements" and "Essays on the Physiology of Movement and Activity". Besides it contains a story of his life and work.

The book is of great theoretical interest for research workers and students in the fields of physiology, biology, psychology, medicine, cybernetics and engineering and also of practical interest for physicians concerned with the treatment of movement disorders, for sports coaches (and sportsmen), and teachers in choosing the ways of improvement of various movements.

СОДЕРЖАНИЕ

От составителя (*И.М. Фейгенберг*) 7

О ПОСТРОЕНИИ ДВИЖЕНИЙ

Предисловие 11

Часть первая
ДВИЖЕНИЯ

Глава первая. **О происхождении двигательной функции** 13

Эволюционное значение двигательной функции. Обогащение координационных ресурсов. Развитие структур центральной нервной системы. Возникновение и развитие уровней построения движений. Координационные контингенты движений

Глава вторая. **О построении движений** 23

Кинематические цепи тела и степени свободы подвижности. Трудности управления движениями системы с более чем одной степенью свободы. Основная задача координации. Значение упругости скелетных мышц и периферический цикл взаимодействий. Примеры осложненных соотношений между мышечными напряжениями и движением. Принцип сензорных коррекций. Рефлекторное кольцо. Внутренние, реактивные и внешние силы. Определение координации движений. Уровни построения движений. Ведущие и фоновые уровни. Опись уровней построения

Часть вторая
УРОВНИ ПОСТРОЕНИЯ ДВИЖЕНИЙ

Глава третья. **Субкортикальные уровни построения.** Рубро-спинальный уровень палеокинетических регуляций *A* 44

Палеокинетическая и неокинетическая системы. Свойства нервного процесса в обеих системах. Синапсы неокинетической системы. Альтерационные смещения характеристик. Палеорегуляция неокинетического процесса. Субстраты рубро-спинального уровня *A*. Афферентации. Характеристический нервный процесс. Функции рубро-спинального уровня. Субординация. Мышечный тонус. Альфа-волны и палеокинетические регуляции. Самостоятельные движения и фоновые компоненты уровня *A*. Дисфункции

Глава четвертая. **Субкортикальные уровни построения. Уровень синергий и штампов, или таламо-паллидарный уровень *B*.** 68

Филогенез уровня *B*. Субстраты. Ведущая афферентация. Координационные качества. Самостоятельные движения. Фоновая роль. Дисфункции

Глава пятая. **Кортикальные уровни построения. Пирамидно-стриальный уровень пространственного поля *C*** 81

Двойственность уровня *C*. Афферентация. Пространственное поле. Характер движений уровня *C*. Пространственная обусловленность движений. Вариативность, переключаемость, экстемпоральность. Субстраты. Самостоятельные движения. Фоновая роль. Дисфункции

Глава шестая. **Кортикальные уровни построения. Теменно-премоторный уровень действий** *(d)* ... 106
Специфически-человеческая принадлежность уровня *D*. Группа апраксий. Субстраты. Афферентация. Смысловая структура действий. Пространство уровня действий. Эволюция взаимоотношений с предметом. Строение двигательных актов уровня *D*.Двигательный состав действий. Высшие автоматизмы. Роль премоторных систем. Сензорные и кинетические апраксии. Деавтоматизация. Классификация двигательных актов уровня *D*. Высшие кортикальные уровни. Уровни, лежащие выше уровня действий (группа *E*). Координационные свойства группы *E*

Часть третья

РАЗВИТИЕ И РАСПАД

Глава седьмая. **Возникновение и развитие уровней построения** 142
Биогенетический закон и его ограничения. Эмбриогенез моторных центров мозга. Филогенез главных ядер мозга. Схема развития моторики позвоночных. Онтогенез моторики человека в первом полугодии жизни. Дозревание системы striatum. Онтогенез охватывания предмета. Развитие локомоций. Дозревание уровня действий. Развитие моторики в отрочестве. Пубертатный период

Глава восьмая. **Развитие двигательных навыков** 164
Условнорефлекторная теория развития двигательного навыка и ее ошибки. Определение двигательного навыка. Два периода развития навыка. Установление ведущего уровня. Определение двигательного состава. Выявление сензорных коррекций. Фаза автоматизации. Собственно фоны и автоматизмы. Переносы упражненности по навыку. Снижение порогов сигнальных рецепторов. Фаза срабатывания коррекций. Стандартизация. Три стадии развития навыков с синергетическими фонами. Динамически устойчивые движения. Дискретность и общечеловечность динамически устойчивых форм. Фаза стабилизации. Факторы, сбивающие автоматизацию. Возрастание переключаемости. Переносы по органу и приему; генерализация навыка. Прелиминарные коррекции. Структура навыка письма. Развитие навыка письма. Реавтоматизация и врабатывание

Глава девятая. **Признаки уровневой структуры в патологии и в норме** 206
Требования к признакам координационной структуры. Явления, обусловливающие сложность патологических синдромов. Влияние пункта поражения на рефлекторном кольце. Гиподинамии и эфференации. Гиподинамические синдромы по уровням. Персеверации. Персеверации в норме. Группирование признаков нормы по двум периодам развития навыка. Основные вопросы по уровневой структуре нормальных движений. Признаки точности и вариативности. Уровневые проявления признака точности. Уровневые характеристики деавтоматизирующих факторов

ОЧЕРКИ ПО ФИЗИОЛОГИИ ДВИЖЕНИЙ И ФИЗИОЛОГИИ АКТИВНОСТИ

От автора 245

Раздел первый

Очерк первый. **К истории изучения движений** 248

Очерк второй. **Циклограмметрический метод** 260

Очерк третий. **Проблема взаимоотношений координации и локализации** 266
1. Основное дифференциальное уравнение движения 266
2. Целостность и структурная сложность живого движения 270
3. Взаимоотношения координации и локализации 275
4. Экфория двигательных энграмм 280
5. Топология и метрика движений. Моторное поле 285
6. Принцип "равной простоты" 290

Раздел второй

Очерк шестой. **Координация движений в онтогенезе** 297
1. Противоречия развития между филогенезом и онтогенезом 297
2. Развитие координационных систем в филогенезе 299
3. Развитие координации в раннем онтогенезе 309
4. Природа навыка и тренировки 326

Очерк седьмой. **Биодинамика локомоций (генез, структура, изменения)** 334
1. Материал, исходные положения, техника 334
2. Основные структурные слагающие локомоторного акта 340
3. Генез биодинамической структуры локомоторного акта 347
4. Эскизы к качественному анализу биодинамических элементов локомоторного акта 359
5. Выводы к учению о координации движений 366

Раздел третий

Очерк восьмой. **Назревшие проблемы регуляции двигательных актов** 373

Очерк девятый. **Управление, кодирование и моделирование в физиологии** 392

Очерк десятый. **Модели как средство изучения нервно-двигательных процессов** 405

Очерк одиннадцатый. **Пути и задачи физиологии активности** 410

Очерк двенадцатый. **Новые линии развития в физиологии и биологии активности** 431

Заключение 450

Николай Александрович Бернштейн. Газенко, И.М. Фейгенберг 463

Труды Н.А. Бернштейна 480
Литература о Н.А. Бернштейне 487
Именной указатель 488
Bernstein N.A. Physiology of movement and activity (science classics) 492

Научное издание

Бернштейн Николай Александрович

Физиология движений
и активность

Утверждено к печати
Редакционной коллегией
серии "Классики науки"

Редактор издательства *И.С. Левитина*
Художественный редактор *Н.Н. Михайлова*
Технический редактор *Л.В. Русская*
Корректоры *Р.Г. Ухина, Т.И. Шеповалова*

Набор выполнен в издательстве
на электронной фотонаборной системе

ИБ № 39577

Подписано к печати 17.04.90
Формат 70Х90 1/16. Бумага книжно-журнальная
Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 36,3 + 0,1 вкл. Усл.кр.-отт. 37,6. Уч.-изд.л. 41,5
Тираж 2200 экз. Тип. зак. 4414. Цена 6р.70к.

Ордена Трудового Красного Знамени
издательство "Наука"
117864 ГСП-7, Москва В-485
Профсоюзная ул., д. 90

2-я типография издательства "Наука"
121099, Москва Г-99, Шубинский пер., 6



Николай Александрович
БЕРНШТЕЙН
(1896—1966)

Н.А.
БЕРНШТЕЙН





ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»